

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Estudo da interacção água subterrânea/água superficial nos sistemas
associados à Lagoa de Albufeira.**

Ana Sofia Duarte

Mestrado em Geologia Aplicada
Especialização em Hidrogeologia

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Estudo da interacção água subterrânea/água superficial nos sistemas
associados à Lagoa de Albufeira.**

Ana Sofia Duarte

Dissertação de mestrado orientada pela Professora Doutora Paula
Fernandes e pela Professora Doutora Maria do Rosário Carvalho

Mestrado em Geologia Aplicada
Especialização em Hidrogeologia

2012

Resumo

A Lagoa de Albufeira é uma lagoa costeira com barra de maré, de composição arenosa, que em determinadas alturas do ano separa a lagoa do mar. A margem sul da lagoa tem vindo, ao longo dos tempos, a ser ocupada por habitações, inicialmente de construção clandestina, actualmente licenciadas. O abastecimento público de água e o saneamento só foram construídos recentemente, pelo que é bastante frequente a existência de pontos de captação de águas subterrâneas nas suas propriedades.

O estudo apresentado nesta dissertação teve como principal objectivo identificar as relações entre as águas subterrâneas e superficiais com a lagoa de Albufeira e as variações de fluxo e composição química das diferentes componentes do sistema hidrológico associado à lagoa.

A ligação da lagoa ao mar está dependente da presença/ausência da uma barra de maré, que é removida periodicamente por meios mecânicos. Com o presente estudo, pretendeu verificar-se as influências no sistema, da dualidade barra aberta/barra fechada. Desta forma, o estudo foi dividido em duas campanhas, a primeira em condições de barra aberta (C1), coincidente com o período de verão; e uma 2ª campanha (C2) em condições de barra fechada, no período de inverno.

O estudo constou da inventariação de captações de água em poços, furos, ribeiras e na própria lagoa, recolha de amostras para análise físico-química e isotópica ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$) e medição pontual de níveis piezométricos em poços.

Observou-se a existência de forte contaminação antrópica nas águas subterrâneas da margem sul da lagoa, revelada pela presença de nitratos e sulfatos, provavelmente associada à presença de antigas fossas sépticas ou actividade agrícola.

O estudo da composição isotópica em $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ mostrou que as águas analisadas seguem o comportamento da recta meteórica de Portugal continental. As águas dos poços, furos e ribeiras são claramente mais empobrecidas nestes isótopos do que as da lagoa. As águas da lagoa são as mais enriquecidas em ^{18}O e ^2H , fazendo-se notar a contribuição de água do mar.

Algumas águas captadas são impróprias para consumo humano por não obedecerem aos valores paramétricos estipulados pelo Decreto de Lei 206/2007, nomeadamente em relação aos parâmetros nitratos e pH.

Os diagramas SAR, construídos para aferir a qualidade das águas para fins de rega, mostrou que a maioria das águas subterrâneas pode ser utilizada para este fim.

A medição de níveis piezométricos em poços permitiu identificar o fluxo de água subterrânea nos aquíferos do lado sul da lagoa, com sentido para NE em direcção à lagoa.

A composição da água da lagoa está fortemente dependente da ligação com o mar. Ao redor do espelho de água são facilmente identificáveis as entradas de água superficial, as quais resultam na diluição da composição da água da lagoa.

A análise dos parâmetros químicos e de fluxo permitem inferir que os fluxos de água doce, subterrânea e superficial, contribuem para as variações da composição da água da lagoa e que o transporte de contaminantes é feito, essencialmente, através da água subterrânea que drena o aquífero presente junto à margem sul da lagoa, sendo o gradiente de drenagem de 1,2%.

Abstract

The Albufeira Lagoon is a coastal lagoon with tide bar, sandy composition, which at certain times of the year separates the lagoon from the sea. The south bank of the pond has, over time, been occupied by households, initially illegal construction, currently licensed. The public water supply and sanitation were built only recently, that is the reason why there are often points of groundwater abstraction in their properties.

The study presented in this dissertation main objective was to identify relationships between groundwater and surface water in the lagoon of Albufeira and the flow variations and chemical composition of the different components of the hydrological system associated with the pond.

The connection of the sea pond is dependent on the presence / absence of a bar of tide, which is periodically removed by mechanical means. The present study aimed to verify the influences on the system, the duality open bar / closed bar. Thus, the study was divided into two campaigns, the first in terms of open bar (C1), coinciding with the summer period, and a 2nd campaign (C2) in terms of closed bar during winter.

The study consisted of inventories of water abstraction from wells, boreholes, streams and the lake itself, collection of samples for physico-chemical and isotopic ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$) as well as metering of piezometric levels in wells.

It was observed the existence of strong anthropogenic contamination in groundwater on the southern shore of the lagoon, revealed by the presence of nitrates and sulphates, probably associated with the presence of old septic tanks or agricultural activity.

The study of the isotopic composition in $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ showed that the analyzed waters follow the behavior of continental Portugal meteoric water line. The waters of the wells, boreholes and streams are clearly more impoverished in these isotopes than in the pond. The waters of the lagoon are the most enriched in ^{18}O and ^2H , becoming noted the contribution of the seawater.

Some collected waters are unfit for human consumption by not obeying the parametric values stipulated by Decree Law 206/2007, in particular for nitrates and pH parameters.

The diagrams SAR, constructed to know the quality of water for irrigation, showed that the majority of groundwater can be used for this purpose.

The measurement of piezometric levels in wells identified groundwater flow in aquifers of the south side of the lagoon, with regard to NE towards the pond.

The composition of the pond water is strongly dependent on the connection with the sea. Around the water mirror are easily identifiable the inputs of surface water, which results in dilution of the composition of the pond water.

The analysis of chemical parameters and flow, allow us to infer that the flow of freshwater, groundwater and surface, contributes to the variations in the composition of pond water

and the transport of contaminants is done, essentially, through the groundwater that drains the present aquifer along the south bank of the pond, being the drainage gradient of 1.2%.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu irmão, Ricardo, a quem dedico o presente trabalho.

Aos meus pais e avó por tudo e mais alguma coisa.

Às Professoras Doutoras Paula Galego Fernandes e Maria do Rosário Carvalho pela dedicação, apoio e transmissão de conhecimentos ao longo do presente trabalho.

Ao Eng. Luís Carita pela amizade e auxílio nas análises físico-químicas das águas.

Aos amigos Carlos Janardo, Frederico Ferreira e Maria Gomes que sempre me ofereceram ajuda.

À Maria Martins, na resolução de dificuldades informáticas.

A todos os professores do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (GeoFCUL) que fizeram parte da minha formação.

A todos os meus pilares emocionais, pelo muito apoio e paciência constantes.

Obrigada.

Índice Geral

1. Introdução.....	15
2. Caracterização da área em estudo.....	17
2.1. Características gerais da área em estudo	17
2.2.1. Jurássico	20
2.2.2. Cretácico	20
2.2.3. Paleogénico.....	22
2.2.4. Miocénico.....	22
2.2.5. Pliocénico	23
2.2.6. Quaternário.....	24
2.3. Enquadramento tectónico	25
2.4. Enquadramento geomorfológico.....	27
2.4.1. Península de Setúbal	27
2.4.2. Rede Hidrográfica da Lagoa de Albufeira	29
2.4.3. Bacia hidrográfica da Lagoa de Albufeira.....	29
2.5. Enquadramento climático.....	31
2.6. Enquadramento hidrogeológico	33
3. Revisão da Literatura	35
4. Hidrogeoquímica.....	39
4.1. Amostragem e métodos analíticos	39
4.2. Parâmetros medidos no campo.....	41
4.2.1. Resultados.....	41
4.3. Parâmetros analisados em laboratório.....	43
4.3.1. Resultados.....	44
4.4. Erro de balanço	45
4.5. Discussão.....	46
4.5.1. Fácies hidroquímica	69
4.5.2. Índices hidrogeoquímicos	73
4.5.3. Equilíbrio água-rocha	76
4.5.4. Processos de mistura e/ou contaminação.....	78
4.5.4.1. Campanha 1	78
4.5.4.1. Campanha 2	86
5. Geoquímica Isotópica.....	88

5.1. Resultados.....	92
5.2. Discussão.....	92
6. Níveis piezométricos	97
6.1. Resultados.....	97
6.2. Discussão.....	97
7. Avaliação da qualidade da água para consumo humano e rega	99
8. Conclusões finais	103
Referências.....	106

Índice Figuras

Figura 1 - Localização geográfica da área em estudo	17
Figura 2 - Abertura da barra de maré através de meios mecânicos. Fotografia de João Carlos Farinha	18
Figura 3 - Excerto da carta 38 B Setúbal (1/50000)	19
Figura 4 - Corte Geológico esquemático da Península de Setúbal (adaptado de Andrade, 1989).	20
Figura 5 - Localização da bacia das Ribeiras do Sul (adaptado de http://www.inag.pt).....	30
Figura 6 - Representação esquemática dos sistemas que constituem o ambiente lagunar na Lagoa de Albufeira (adaptado de Freitas et al., 2004).....	31
Figura 7 - Localização das amostras das águas em estudo em condições de barra aberta (C1). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.	40
Figura 8 - - Localização das amostras das águas em estudo em condições de barra fechada (C2). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.	41
Figura 9 - Variação dos valores de pH para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2). V.P. corresponde aos valores de pH permitidos em águas para consumo humano segundo o decreto de lei nº 206/2007.....	47
Figura 10 - Variação dos valores da temperatura para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	48
Figura 11 - Variação dos valores de potencial de oxidação-redução (Eh) para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	49
Figura 12 - Variação dos valores de condutividade eléctrica (Ce) para as águas estudadas de poços, furos e ribeiras em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	49
Figura 13 - Variação dos valores de condutividade eléctrica (Ce) para as águas estudadas da lagoa em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	50
Figura 14 - Variação dos valores de CO ₂ livre para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	51
Figura 15 - Variação dos valores de alcalinidade para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	52
Figura 16 - Variação da concentração de cálcio para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	53

Figura 17 - Variação dos valores de dureza total para as águas estudadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	54
Figura 18 - Variação dos valores de dureza total para as águas estudadas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	54
Figura 19 - Variação da concentração de potássio nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	56
Figura 20 - Variação da concentração de potássio nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	56
Figura 21 - Variação da concentração de sódio nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	57
Figura 22 - Variação da concentração de Sódio nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	58
Figura 23 - Variação da concentração de magnésio nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	59
Figura 24 - Variação da concentração de magnésio nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	59
Figura 25 - Variação da concentração de fluoreto nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	60
Figura 26 - Variação da concentração de cloreto nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	61
Figura 27 - Variação da concentração de cloreto nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	62
Figura 28 - Variação espacial do cloreto em condições de barra aberta (C1). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.....	62
Figura 29 - Variação espacial do cloreto em condições de barra fechada (C2). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.....	63
Figura 30 - Variação da concentração de brometo nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	64
Figura 31 - Variação da concentração de brometo nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	64

Figura 32 - Variação da concentração de nitrato nas águas amostradas em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2). V.P. represente o limite acima do qual as águas são impróprias para consumo humano segundo o decreto de lei nº 206/2007.	65
Figura 33 - Variação espacial dos nitratos em condições de barra aberta (C1). A cor azul representa amostras recolhidas em poços, a vermelha corresponde a amostras recolhidas na lagoa, a amarelo as amostras das ribeiras e a laranja os furos.	65
Figura 34 - Variação espacial dos nitratos em condições de barra fechada (C2). A cor azul representa amostras recolhidas em poços, a vermelha corresponde a amostras recolhidas na lagoa, a amarelo as amostras das ribeiras e a laranja os furos.	66
Figura 35 - Variação da concentração de sulfato nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	67
Figura 36 - Variação da concentração de sulfato nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).....	68
Figura 37 - Variação da concentração de bicarbonato nas águas amostradas em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	69
Figura 38 – Diagramas de Stiff para as águas amostradas nos poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).....	70
Figura 39 - Diagramas de Stiff para as águas amostradas nos poços, furos e ribeiras em condições de barra fechada (C2).	71
Figura 40 - Diagramas de Stiff para as águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1).	72
Figura 41 - Diagramas de Stiff para as águas amostradas na lagoa em condições de barra fechada (C2).	73
Figura 42 - Relação entre as concentrações de cloreto e sódio das águas analisadas em barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar.	78
Figura 43 - Relação entre as concentrações de cloreto e sódio das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).....	79
Figura 44 - Relação entre as concentrações de brometo e cloreto das águas analisadas em condições de barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar.	80
Figura 45 - ação entre as concentrações de brometo e cloreto das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).....	80
Figura 46 - Relação entre as concentrações de cálcio e sódio das águas analisadas em condições de barra aberta (C1).....	81

Figura 47 - Relação entre as concentrações de cálcio e sódio das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).	81
Figura 48 - Relação entre as concentrações de nitrato e cloreto das águas analisadas em condições de barra aberta (C1).....	82
Figura 49 - Relação entre as concentrações de nitrato e cloreto das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).....	82
Figura 50 - Relação entre as concentrações de sulfato e cloreto das águas analisadas em condições de barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar.	83
Figura 51 - Relação entre as concentrações de sulfato e cloreto das águas analisadas em poços furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).....	83
Figura 52 - Relação entre as concentrações de sulfato e alcalinidade das águas analisadas em condições de barra aberta (C1).....	84
Figura 53 - Relação entre as concentrações de sulfato e alcalinidade das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).....	84
Figura 54 - Relação entre as concentrações de sulfato e nitrato das águas analisadas em condições de barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar. A seta a tracejado representa o aumento de concentração de nitratos.	85
Figura 55 - Relação entre as concentrações de sulfato e nitrato das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1). A linha representa a direcção da variação da concentração de nitratos. A seta a tracejado representa o aumento da concentração de sulfato através de sais marinhos.	85
Figura 56 - Relação entre as concentrações de sulfato e alcalinidade das águas analisadas em condições de barra fechada (C2).	86
Figura 57 - Relação entre as concentrações de cloreto e nitrato das águas analisadas em condições de barra fechada (C2).	86
Figura 58 - Relação entre as concentrações de cloreto e sulfato das águas analisadas em condições de barra fechada (C2).	87
Figura 59 - Processos que modificam a composição isotópica da água (D'Amore & Panichi, 1987, in Carvalho, 2000).	91
Figura 60 - Diagrama de dispersão dos teores de $\delta^{2}\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$	93
Figura 61 - Variação de $\delta^{2}\text{H}$ com a condutividade eléctrica.	94
Figura 62 - Variação de $\delta^{2}\text{H}$ com a condutividade eléctrica, nas águas amostradas nos furos, poços e ribeiras.	94

Figura 63 - Variação de $\delta^{18}\text{O}$ com a condutividade eléctrica.	95
Figura 64 - Variação de $\delta^{18}\text{O}$ com a condutividade eléctrica das amostras analisadas em furos, poços e ribeiras.....	95
Figura 65 - Distribuição espacial dos teores de $\delta^{18}\text{O}$. Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.....	96
Figura 66 - Distribuição espacial dos teores de $\delta^2\text{H}$. Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.....	96
Figura 67 - Distribuição espacial dos níveis piezométricos dos poços em condições de barra aberta (C1). As linhas correspondem às piezolinhas dos 7 m e dos 10m.....	98
Figura 68 - Diagrama SAR para as ribeiras, poços e furos amostrados em condições de barra aberta (C1).	100
Figura 69 - Diagrama SAR para as ribeiras, poços e furos amostrados em condições de barra fechada (C2).	101

Índice Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros obtidos no campo para as amostras de água estudadas em condições de barra aberta (C1). Cond representa a condutividade eléctrica.	42
Tabela 2 - Parâmetros obtidos no campo para as amostras de água estudadas em condições de barra fechada (C2). Cond representa a condutividade eléctrica.....	42
Tabela 3 - Dados obtidos no laboratório para as águas estudadas em barra aberta (C1).	44
Tabela 4 - Dados obtidos no laboratório para as águas estudadas em condições de barra fechada (C2).	45
Tabela 5 - Erros de balanço (%) das águas em estudo em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).	46
Tabela 6 - Variação das fácies hidroquímicas em condições de barra aberta e barra fechada.	72
Tabela 7 - Índices hidrogeoquímicos das águas amostradas em condições de barra aberta (C1).	75
Tabela 8 - Índices hidrogeoquímicos das águas amostradas em condições de barra fechada (C2).	75
Tabela 9 - Índices de saturação das águas amostras analisadas em condições de barra aberta (C1). Azul significa água subsaturada, laranja significa água em equilíbrio e verde água sobressaturada.....	76
Tabela 10 - Índices de saturação das águas amostras analisadas em condições de barra fechada(C2). Azul significa água subsaturada, laranja significa água em equilíbrio e verde água sobressaturada.....	77
Tabela 11 - Resultados das análises isotópicas.....	92
Tabela 12 - Níveis piezométricos dos poços	97
Tabela 13 - Valores paramétricos para a avaliação da qualidade da água para consumo humano, com base do Decreto de Lei nº 206/2007.....	99
Tabela 14 - Qualidade das águas amostradas para utilização agrícola.	102

1. Introdução

O presente estudo visa a caracterização do sistema hidrológico associado à Lagoa de Albufeira – Sesimbra e da interacção água superficial/água subterrânea no local.

A margem sul da Lagoa tem vindo a ser ocupada por moradias, na sua maioria apenas habitadas ao fim de semana e em período de férias. O abastecimento público de água e o saneamento só foram construídos recentemente, de modo que praticamente toda a população possui furos e/ou poços nas suas propriedades, cujas águas são captadas para consumo humano e rega.

A lagoa de Albufeira trata-se de uma lagoa costeira e, como tal, tem influência marinha, fenómeno que se traduz numa grande importância hidrogeológica. A interacção dos aquíferos com corpos hídricos superficiais sujeitos a oscilação de marés gera variações nos níveis de água nos aquíferos, além de alterações de ordem química na composição das águas subterrâneas.

Os objectivos principais consistem na identificação de sistemas aquíferos, caracterização dos recursos hídricos superficiais, estudo das interferências marinhas, construção do modelo conceptual do sistema e avaliação da qualidade da água da Lagoa de Albufeira e Subsistemas associados.

Para a realização do presente trabalho foram definidas tarefas que vão desde a recolha bibliográfica, reconhecimento de campo, inventariação de pontos de água subterrânea e dos recursos hídricos superficiais, amostragem de águas superficiais (lagoa e ribeiras) e subterrâneas (poços e furos), análises químicas e isotópicas e tratamento e interpretação dos dados obtidos.

Foi necessário consultar os arquivos da Administração da Região Hidrográfica do Tejo (ARH Tejo) para adquirir informação sobre captações de água subterrânea existentes na área em estudo. Sendo os dados obtidos insuficientes para o efeito, foi necessária uma árdua pesquisa no local para a inventariação de poços e furos particulares.

Na região da Lagoa de Albufeira existe uma barra de maré, de composição arenosa e com comportamento sazonal que em determinadas alturas do ano separa o mar da Lagoa e que influencia todo o sistema. Antes do início da época balnear a barra de maré é aberta através de meios mecânicos colocando a lagoa em contacto com a água do mar. Entre Setembro a Dezembro a barra fecha naturalmente passando a ser a água das ribeiras que para ela drenam e a precipitação, as principais fontes de recarga. Esta dualidade de comportamento tem influencia não só no nível da lagoa e da água subterrânea como se traduz em variações na composição de todo o sistema.

Neste trabalho é dado relevo à dualidade barra aberta/barra fechada tendo sido realizadas campanhas de amostragem em ambas as situações.

- 1ª Campanha (C1) em Junho de 2011, em condições de barra de maré aberta;
- 2ª Campanha (C2) em Fevereiro de 2012, em condições de barra de maré fechada.

Quando a barra que separa a lagoa do mar é aberta, a lagoa é invadida pela água do mar e, assim sendo, a água que a constitui adquire as suas características e o seu nível baixa. Durante este período, a recarga da lagoa é praticamente realizada pela água do mar uma vez que grande parte das ribeiras que fazem a drenagem para a lagoa se encontram secas.

Em condições de barra fechada, que tipicamente coincide com períodos de maior precipitação, a lagoa deixa de ter contacto directo com a água do mar, sendo a sua recarga feita essencialmente através da drenagem das ribeiras que para ela drenam e o seu nível sobe.

O presente estudo visa obter informações acerca destes fenómenos e perceber a sua importância no nível freático do sistema aquífero, assim como se traduz no sistema aquífero a dinâmica barra aberta/ barra fechada.

Não existe qualquer controle em termos químicos ou bacteriológicos, logo, este estudo químico torna-se fundamental.

2. Caracterização da área em estudo

2.1. Características gerais da área em estudo

A Lagoa de Albufeira (Figura 1) situa-se em Portugal Continental, na orla ocidental da Península de Setúbal, na parte Sul do arco litoral Caparica Espichel. Enquadra-se na freguesia de Sesimbra-Castelo, a 20 Km da capital, Lisboa.

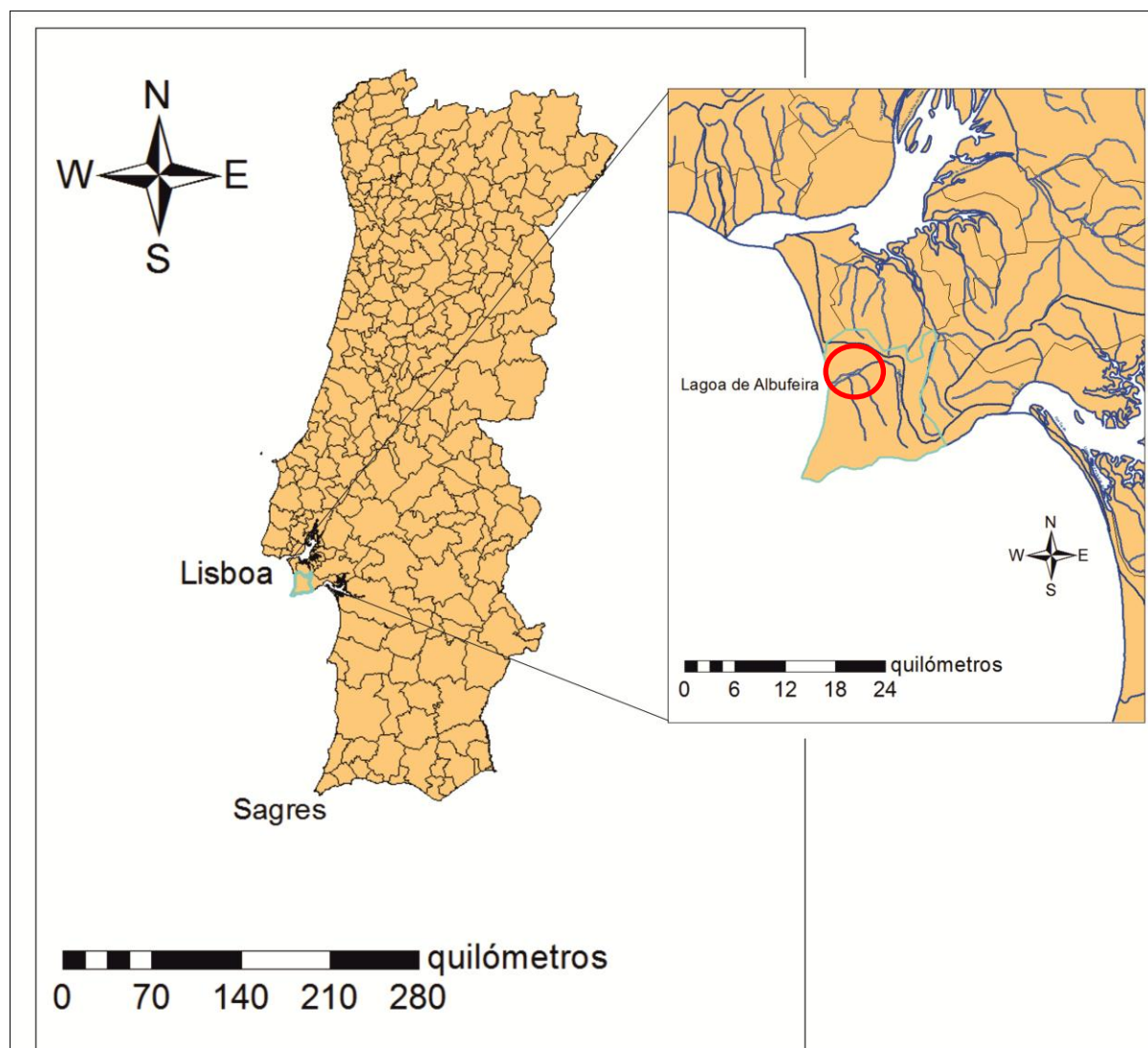


Figura 1 - Localização geográfica da área em estudo

A Lagoa apresenta uma geometria alongada com o eixo maior disposto obliquamente à linha de costa, orientado SW-NE e ocupa actualmente uma superfície de cerca de 1,3 Km². Apresenta um comprimento máximo de aproximadamente 3,5 Km e uma largura máxima de 625 metros (Freitas, 1995).

A bacia hidrográfica da Lagoa de Albufeira estende-se por cerca de 106 Km², sendo a Ribeira da Apostiça o seu principal afluente (Freitas, 1995).

A Lagoa encontra-se separada do oceano Atlântico através de uma barra de maré. Trata-se de uma barreira contínua que é aberta, anualmente, através de meios mecânicos (Figura 2), com a finalidade de renovação das suas águas, que, posteriormente fecha naturalmente.

Segundo registos (Freitas 1995) a abertura da barra permanece entre 2-3 semanas até 5-6 meses, dependendo este fenómeno das características das ondas e marés e da interacção destas com a quantidade de sedimento fornecido pela deriva litoral.

Quando a barreira está aberta, a água que constitui a Lagoa é essencialmente água do mar, em constante renovação. No período em que a barreira se encontra fechada, a água que contém fica retida, deixando de haver contribuições do oceano. Frequentemente o fecho da barreira coincide com o início das chuvas, que alimentam as linhas de água que convergem na Lagoa de Albufeira. O intercâmbio Lagoa - mar, conseguido através da abertura da barreira arenosa, tem uma grande importância no controle da eutrofização e para evitar que o sistema lagunar se transforme naturalmente num sistema límnico e até pantanoso (Freitas 1995).



Figura 2 - Abertura da barra de maré através de meios mecânicos. Fotografia de João Carlos Farinha

A Lagoa de Albufeira é constituída por dois corpos lagunares contíguos: A Lagoa Grande (corpo lagunar principal) e a Lagoa pequena, que estão separados por um canal sinuoso, pouco profundo e estreito. A Lagoa pequena é o corpo lagunar mais interior e menos profundo, com profundidade máxima na ordem dos 2 m, enquanto a Lagoa Grande pode atingir os 15 m de profundidade. Em anos de pluviosidade elevada, com a barra fechada, as profundidades podem aumentar substancialmente, chegando a atingir os 20m e 6 m, na Lagoa Grande e Lagoa Pequena, respectivamente (Freitas, 1995).

A Lagoa Grande é constituída por dois segmentos elípticos, separados por duas cúspides arenosas aproximadamente simétricas localizadas em margens opostas. Estas cúspides simétricas são o resultado do longo período de desenvolvimento do litoral lagunar (Fisher 1955 e Zenkovitch 1959). Por outro lado, verifica-se que as margens da Lagoa são assimétricas, sendo a margem Norte mais íngreme e arenosa, enquanto a margem Sul é menos íngreme e encontra-se bastante intervencionada pelo Homem.

2.2. Enquadramento litoestratigráfico

As características litológicas das formações tomam uma importância extrema na compreensão do comportamento da água e sua qualidade na região da Lagoa de Albufeira,

desta forma serão descritas as formações litológicas da Sub-bacia onde se enquadra a Lagoa de Albufeira – Bacia das Ribeiras do Sul.

A área em estudo é abrangida pela Carta Geológica de Portugal 38-B-Setúbal, na escala 1:50000, editada pelos Serviços Geológicos de Portugal (Figura 3). Esta, a análise da notícia explicativa editada em 1999 e o estudo de campo realizado no local permitem a descrição da litologia da área da Sub-bacia da Lagoa de Albufeira. É evidenciada a existência de formações que datam dos períodos Jurássico até ao Quaternário.

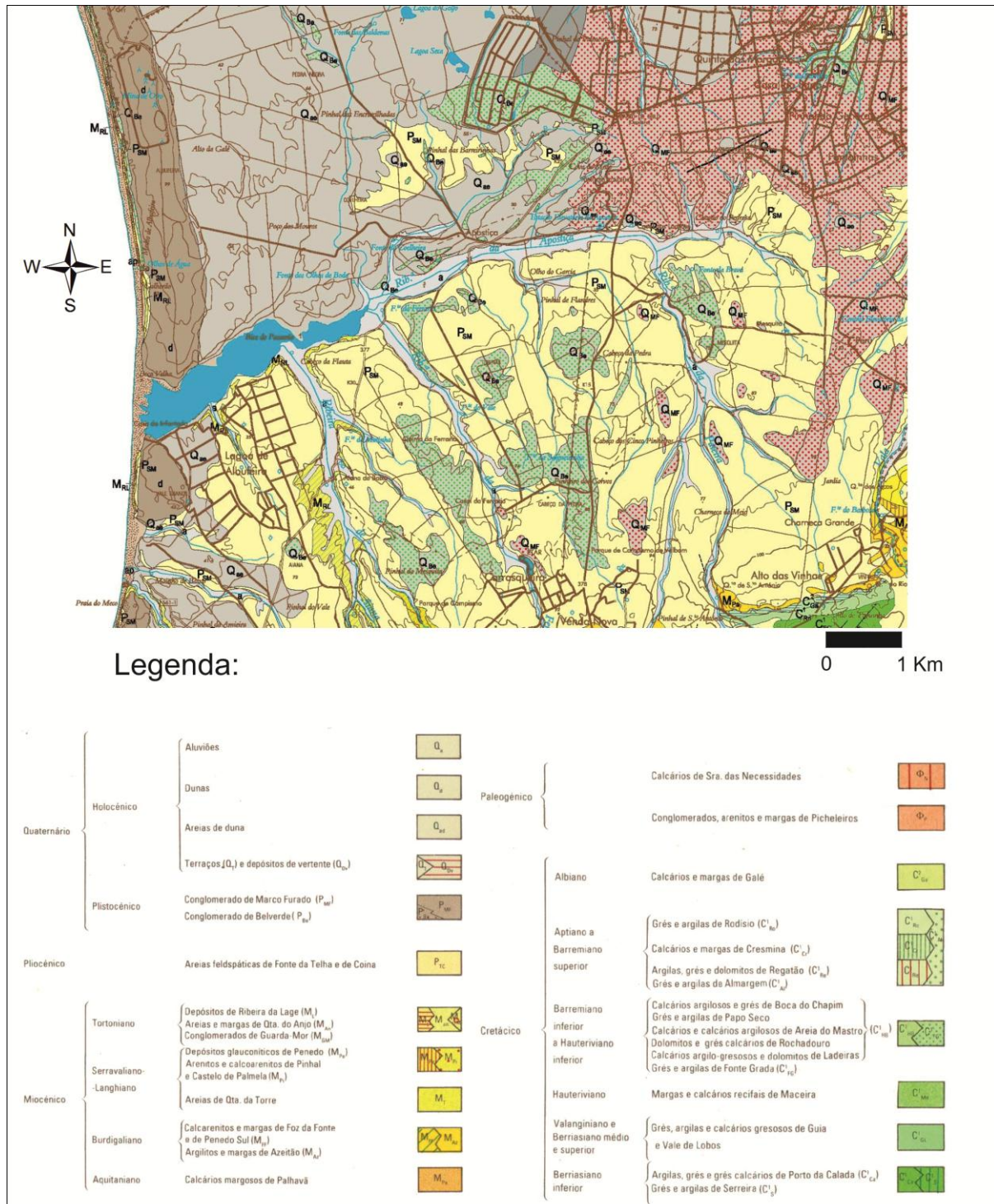


Figura 3 - Excerto da carta 38 B Setúbal (1/50000)

Na Figura 4 está representado o corte geográfico esquemático da Península de Setúbal:

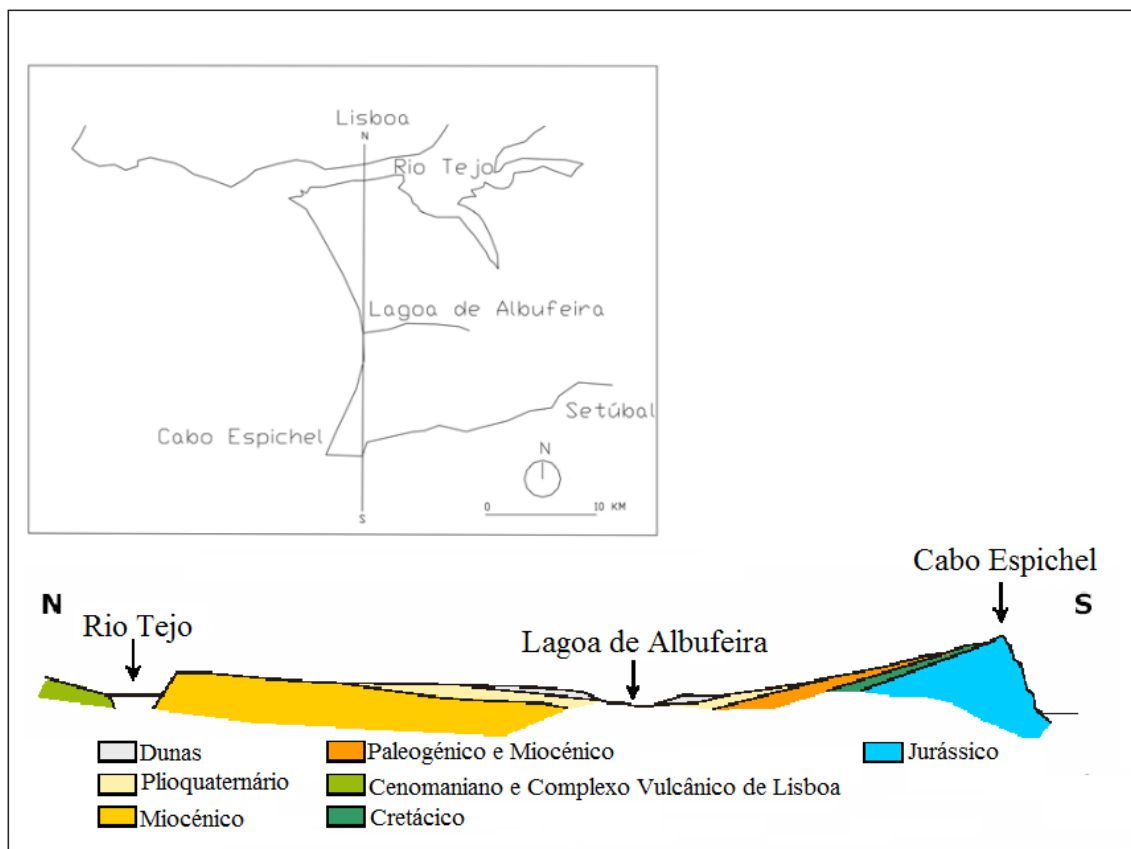


Figura 4 - Corte Geológico esquemático da Península de Setúbal (adaptado de Andrade, 1989).

A descrição das formações é realizada da mais antiga para a mais recente:

2.2.1. Jurássico

As formações Jurássicas afloram no flanco sul do sinclinal mas em profundidades, cujos aquíferos não são captados na zona da Lagoa de Albufeira.

2.2.2. Cretácico

O cretácico constitui uma faixa mais ou menos contínua entre o norte da Praia dos Lagosteiros, onde atinge a espessura máxima, e o meridiano de Vila Fresca de Azeitão, onde é biselado pelas unidades paleogénicas.

Berriasiano Inferior

C1Ca – Argilas, grés e grés calcários do Porto da Calada

Esta formação é constituída por cerca de 40 m de argilas verdes, violáceas ou azuladas, alternadas com bancadas de arenitos lenhitosos que apresentam bioturbação. Nota-se a presença de algumas partículas constituídas por calhaus rolados de quartzo com estratificação entrecruzada. Esta unidade aflora no sinclinal de Sesimbra e na enseada da Praia dos Lagosteiros, onde assenta em concordância com os calcários titonianos.

G1GL – Grés, Argilas e calcários gresosos de Vale de Lobos e Guia (indiferenciados)

Esta unidade é formada por cerca de 46 m de grés brancos cauliniticos, finos a grosseiros, com calhaus rolados de quartzo dispersos na massa arenítica, formando lentículas com estratificação interna entrecruzada e bases ravinantes, alternando com sequências positivas com grés finos e argilas linhitas cinzentas a violáceas – Formação Vale de Lobos.

Acima, assentam cerca de 5 m de calcários gresosos amarelos e arroxeados com oólitos ferruginosos com uma fauna abundante a variada.

Hauteriviano

C1Ma – Margas e calcários recifais da Maceira

É constituída essencialmente por um calcário ferruginoso oolítico (0,5 m) rico em polipeiros rolados, a que se seguem margas, terminando com o membro Lagosteiros, que não foi separado na cartografia. De baixo para cima, esta série é formada por:

- Calcário oolítico ferruginoso, muito rico em polipeiros isolados, gastos e rolados, acompanhados de braquiópodes (0,5 m).
- Margas cinzentas, intercaladas de finos leitões calcários, depois gresosos (25 m).
- Margas brancas com nódulos de Madréporas (10 m).
- Calcários cinzentos claros, maciços, compactos, parcialmente recristalizados e dolomitizados (10 m).

Hauteriviano inferior e Barremiano Inferior

C1HB – Formações de Ladeiras, Rochadouro, areia do Mastro, Papo-seco, Boca do Chapim e Fonte Grada

O Hauteriviano e o Barremiano Inferior são descritos por Zbyszewski *et al.*, (1965), apenas a norte do Cabo Espichel como: Alternância de calcários, calcários ferruginosos, calcários oolíticos, argilas e margas. No entanto, na região da Lagoa de Albufeira os calcários tendem a ser menos espessos (até 1,5 cm), mais arenosos e dolomíticos e alternam com formações detríticas mais abundantes (Freitas 1995).

Aptiano a Barremiano Superior

C1Re – Argilas, grés e dolomitos da Formação do Regatão

A Formação do Regatão é constituída por argilas azuladas, violáceas, brancas ou verdes, siltes argilosos versicolores, siltes lenhitosos, arenitos finos brancos e arenitos grosseiros vermelhos em lentículas com estratificações internas entrecruzadas, e bancadas onduladas de dolomites gresosas amarelas. Um nível intermédio de calcário amarelo, distribuído em

duas bancadas onduladas muito bioturbadas, contém uma fauna rica em Gastrópodes (19 m).

Aptiano Superior

C1RO – Arenitos e argilas da Formação do Rodizio

A norte da Azóia e de Quintola desenvolve-se sobre a Formação de Crismina cerca de 30 m de conglomerados, grés grosseiros e argilas cinzentas e rosadas, constituindo afloramentos descontínuos.

Barremiano superior – Aptiano

C1AL – Grés e argilas da Formação de Almargem

Unidade com espessura de cerca de 45 m de argilas rosadas, brancas ou vermelhas, micáceas com calhaus rolados. Apresentam intercalações de lenticulas areníticas amareladas, follhetadas, e de arenitos grosseiros ou conglomeráticos com estratificação entrecruzada.

Albiano

C2GA – Calcários e margas da Formação Galé

Formação constituída por 20 m de calcários argilosos e gresosos, amarelos, bioclásticos, e margas verdes.

2.2.3. Paleogénico

OP – Conglomerados, arenitos e margas de Picheleiros

Esta unidade forma uma banda mais ou menos contínua com direcção sensivelmente SSW – NNE, entre Quinta do Mineiro e Palmela, com uma espessura que excede os 100 m. É constituída, na parte inferior por arcócos que passam a depósitos essencialmente conglomeráticos, organizados em sequências positivas de granulometria decrescente para o topo. Cada sequência começa por conglomerados com clastos siliciosos, às vezes de grandes dimensões, passando a arenitos arcócos e a argilitos, às vezes calchificados.

2.2.4. Miocénico

Aquitano

MPA – Calcários margosos de Pavalhã

Foram datados níveis marinhos do Aquitano superior a Burdigaliano inferior pela presença de *Miogypsina aff. Borneensis* Tan e de *M.aff Globulina Michelotti* ou *M.aff.cushmani* Vaughan (Azeredo & Carvalho, 1986). Referem a presença de algas coralinas, miliolídeos, briozoários, moluscos e equinodermes.

Burdigaliano

MFF – Calcarenitos e margas de Foz da Fonte e de Penedo Sul

Esta unidade aflora no flanco meridional do sinclinal da Lagoa de Albufeira. Nesta formação predominam as cores amareladas e alaranjadas e pode ser subdividida em parte inferior e superior, uma vez que entre estas existe uma superfície de descontinuidade regional. O conjunto inferior tem cerca de 12 m de espessura e inicia-se por um conglomerado com clastos de rochas filonianas e calcários cretácicos, em matriz arenosa média. Seguem-se alternâncias de bancadas de biocalcarenitos e níveis argilosos; segue-se uma bancada de areia fina e novamente biocalcarenitos, truncados pela desconformidade regional. Verificou-se instabilidade, evidenciada por descontinuidades e por concentrações de *Turritellas* e de valvas de ostras, e por último níveis existem níveis cíclicos de biocalcarenitos e margas que traduzem a estabilização da sedimentação.

Langhiano – Serravaliano

MPe – Depósitos glauconíferos de Penedo

Unidade fundamentalmente constituída por areias finas, mais ou menos argilosas, de cor cinzento-escura, com fauna, essencialmente foraminíferos.

Tortoniano

O Tortoniano está representado em pequenos afloramentos situados em ambas as margens da Lagoa de Albufeira e ao longo dos vales das Ribeiras da Aiana e da Sachola (*in* Freitas 1995).

ML – Depósitos da Ribeira da Lage

Unidade essencialmente constituída por areias finas a médias (areolas), micáceas, amareladas a esbranquiçadas, com frequentes níveis decimétricos concrecionados. Para o topo abundam conchas de *Chlamys macrotis*. A parte superior tem espessura reduzida e é constituída por areias finas, amareladas, marinhas sem fauna. Acima desta existe uma superfície erosiva, onde assentam as areias feldspáticas da Fonte da Telha e Coina. A fauna consiste em foraminíferos planctónicos e ostracodos em abundância e variedade, enquanto os dinoflagelados são raros e pouco diversificados.

2.2.5. Pliocénico

PTC – Areias feldspáticas de Fonte da Telha e de Coina

As unidades anteriores são ravinadas por conglomerados descontínuos e pouco espessos. Seguem-se areias finas a grosseiras, frequentemente arcósicas e com estratificação entrecruzada e/ou estruturas convolutas, fluviais. A cor característica vai desde o branco nas Areias de Coina até ao vermelho e amarelo. Nos fundos de canal existem calhaus muito rolados, muitos deles com assinatura ígnea. Nas areias existem blocos isolados de arenitos do período cretácico e nódulos de sílex. Na fracção argilosa predominam a caulinite e ilite. Esta unidade tem de espessura máxima 300 m.

Para Galopim de Carvalho, 1969, *in* Freitas, 1995, o pliocénico arenoso está representado por três conjuntos, apresentados de seguida, do inferior para o superior:

- Areias avermelhadas e conglomerados de quartzo e quartzitos rolados, de idade indeterminada;
- Conjunto formado essencialmente por areias e atribuído ao Placenciano-Astiano;
- Bancadas argilosas mais ou menos espessas, diatomitos e lignitos intercalados nas “Areias de Coia”, finas e calibradas.

Para Azevedo, 1982, a série pliocénica caracteriza-se pela presença de areias de granularidade e coloração variadas e que alternam episodicamente com níveis argilosos cinzentos a negros com fósseis de vegetais (Azevedo, 1985, *in* Freitas, 1995), de espessuras desde pouco centímetros até cerca de 8 metros, raros lignitos e bancadas de diatomitos de 1 a 5 m de espessura. A coloração das areias varia entre branco puro e vermelho, passando por todas as cores intermédias, sendo esta variação brusca quer lateralmente quer verticalmente (Azevedo, 1985, *in* Freitas, 1995). A fracção argilosa é constituída essencialmente por caulinite e, em menores quantidades ilite e/ou mica e por vezes montmorilonite. Os calhaus são abundantes, rolados e de natureza litológica variada: quartzito, quartzo, nódulos de sílex, granito, basalto, sienito, pórfiro, gabro, xistos do Ramalhão, arenitos siliciosos do Belasiano e outros com forte grau de alteração.

2.2.6. Quaternário

Plistocénico

PBE – Conglomerado de Belverde

Esta unidade está presente na sub-bacia em estudo essencialmente a Norte da Ribeira da Apostiça, com espessura entre os 2 e 3 metros. Segundo Azevedo *et al.*, 1979, é composta por conglomerados, pouco consolidados e matriz arenosa. Os clastos são predominantemente de cor branca e são dominados pelos quartzitos, seguindo-se o quartzo e elementos como o sílex, rochas ígneas podres, arenitos e xistos do Ramalhão em menores quantidades.

PMF – Conglomerado de Marco Furado

Unidade com espessura máxima de 30 a 40 m e que é composta por conglomerados com matriz areno-argilosa, de cor vermelha. Os clastos angulosos são predominantemente de quartzo, mas ocorrem também quartzitos, jaspes, sílex e xistos. Principalmente para o topo são frequentes encouraçamentos ferruginosos, muitos deles já destruídos restando apenas fragmentos. Segundo Azevedo, 1982, na fracção argilosa predomina a mica, no entanto também existe ilite e caulinite.

Holocénico

Qad – Areias de duna

As areias de duna cobrem os restantes depósitos e estão largamente representadas na área da sub-bacia da Lagoa de Albufeira. Merecem citação especial os depósitos situados a norte da Lagoa de Albufeira – Ribeira da Apostiça, onde as areias dunares estão na dependência das dunas situadas ao longo da arriba litoral.

Qd – Dunas

No litoral Ocidental, entre a Fonte da Telha até à Lagoa de Albufeira, há um alinhamento de dunas altas que formam os chamados “Medos de Albufeira” chegando a atingir sensivelmente 115 m de altitude, cerca de 50 m de espessura máxima e 8 a 9 Km de comprimento por 1 Km de largura (Azevedo, 1982, *in* Freitas, 1995), atingindo assim grande desenvolvimento. As dunas de praia são fundamentalmente do tipo longitudinal e paralelas à arriba e, as dunas superiores têm morfologia variada, com destaque para alguns grandes “barkanes”. A Sul da Fonte da Telha existem paleosolos intercalados nas dunas.

Qa – Aluviões

As linhas de água têm associados depósitos aluvionares desenvolvidos, como acontece na Ribeira da Apostiça e seus afluentes, que desaguam na Lagoa de Albufeira (Freitas, 1995). Existem na Lagoa de Albufeira e a Este desta, e ocorrem também nos vales das Ribeiras da Aiana, Ferraria e Pateira, sendo a sua espessura inferior a 50 m (Zbyszewski *et al.*, 1965, *in* Freitas, 1995). Estes depósitos aluvionares estão relacionados com enchimento de vales fluviais abertos, aquando de níveis marinhos mais baixos que os actuais.

2.3. Enquadramento tectónico

Os dois elementos tectónicos principais da Península de Setúbal são a cadeia da Arrábida, situada na região meridional, de idade alpina; e a estrutura sinforma, que tem a designação de Sinclinal de Albufeira. Esta última encontra-se limitada a Norte pelo estuário do Tejo e a Sul pela cadeia da Arrábida (Ribeiro *et al.*, 1986).

As primeiras referências à tectónica da Arrábida são da responsabilidade de Choffat (1908), que identificou, datou e descreveu os principais acidentes tectónicos, sendo ainda hoje em dia utilizados cortes geológicos que realizou nessa altura. A cadeia da Arrábida representa uma das estruturas mais importantes da tectónica de inversão de idade Miocénica registada na Bacia Lusitaniana. É limitada a Norte pelo Sinclinal de Albufeira, a Este pela falha Setúbal-Pinhal Novo, a Sul pelo alto estrutural de soco (imerso) da Arrábida e a Oeste por uma provável falha de transferência, conjugada da falha esquerda de Setúbal-Pinhal Novo (Kullberg *et al.*, 2000). O seu eixo é orientado ENE-WSW, ao longo de uma faixa com aproximadamente 30 Km, paralela à cordilheira Bética. A cadeia da Arrábida é formada essencialmente por sequências sedimentares carbonatadas, dolomíticas e margosas, intercaladas com unidades detríticas (Kullberg *et al.*, 2000). De acordo com Ribeiro *et al.*, 1986, *in* Freitas, 1995), esta constitui uma faixa de carreamentos peliculares, típicos de antepaís de cadeia Alpina. No seu interior reconhece-se a existência de rampas frontais com orientação ENE-WSW, acima das quais se formam anticlinais com a mesma direcção e rampas oblíquas com a direcção Norte-Sul, constituindo as últimas desligamentos esquerdos cavalgantes. O carreamento das rampas é realizado para SSE, bem como a vergência dos incliniais, ou seja, apontam ambos no sentido do transporte.

Segundo Kullberg *et al.*, 2000, a cadeia da Arrábida pode ser subdividida em sectores, devido às grandes diferenças na magnitude e estilo das estruturas de deformação:

- Sector Ocidental
- Sector Oriental
- Estrutura de Colapso Gravítico de Palmela.

O sector Ocidental da cadeia da Arrábida é o menos invertido da cadeia onde se encontram as seguintes estruturas (Kullberg *et al.*, 2000):

- O “Monoclinal” do Cabo Espichel;
- O Horst do Forte da Batalha;
- O Doma da Cova da Mijona;
- O Diapiro de Sesimbra;

O sector Oriental define uma estrutura imbricada 3D, formada por cavalgamentos sobrepostos de direcção ENE – WSW vergentes para Sul e rampas laterais esquerdas, de orientação NNE – SSW a N – S, oblíquas aos cavalgamentos. Os cavalgamentos são perpendiculares às rampas laterais quando afastados destas, fundindo-se gradualmente nas rampas laterais à medida que se aproximam delas (comportamento semidúctil), definindo estruturas em duplexes. Segundo Kullberg *et al.*, 2000, as dobras são mais fechadas nos blocos a muro dos cavalgamentos, com a geometria dos eixos sigmoidal e periclinal.

Salienta-se a presença das seguintes estruturas:

- O Anticlinal do Formosinho;
- O Anticlinal do Viso;
- O Anticlinal da Serra de S. Luís;
- A estrutura de Colapso Gravítico de Palmela: a Escama de Palmela.

O Sinclinal de Albufeira estende-se para Norte desde a cadeia da arrábida até ao Rio Tejo. O flanco Norte liga-se á estrutura anticlinal de Lisboa e o flanco Sul está associado aos dobramentos da cadeia da Arrábida (Cabral *et al.*, 1984). Segundo Azevedo (1982), corresponde a uma estrutura sinforme bem aberta, centrada na região ocupada pela Lagoa de Albufeira, com eixo de orientação aproximadamente ENE-WSW (Cabral *et al.*, 1984, Rodrigues 2004), constituindo uma bacia sedimentar subsidente, de pequenas proporções, preenchida por materiais dos períodos terciário e quaternário (Freitas 1995). Segundo Cachão, 1984 (*in* Freitas, 1995), o eixo do sinclinal deverá situar-se na região deprimida entre a Guarda-Fiscal e a Fonte da Telha.

De acordo com Azevedo (1982) o sinclinal teve origem em movimentos de subsidência que ocorreram antes e depois da deposição e que provavelmente se prolongam até à actualidade (com erosão simultânea). Esse movimento e a falha do gargalo (Azevedo, 1982; Cabral *et al.*, 1984) terão sido os responsáveis pelo desvio do curso do Rio Tejo para o leito actual.

A actividade tectónica na Península de Setúbal durante o período Quaternário é descrita por (Azevedo, 1982; Brum, 1983; Dias, 1983; Cabral, *in* Ribeiro *et al.*, 1986; Cabral 1993 (*in* Freitas 1995)). Os acidentes neotectónicos traduzem-se por movimentos verticais da crosta e movimentos de falhas, como se apresenta seguidamente:

- Falha do Vale Inferior do Tejo, de direcção NNE-SSE (Cabral *et al.*, 1984);
- Lineamento do Mar da Palha, a SE de Lisboa (Cabral *et al.*, 1984), que se prolonga pela Península de Setúbal segundo o alinhamento Corroios- Adiça;
- Falha “provável” da Lagoa de Albufeira – Ribeira da Apostiça, indiciada através de evidências geomorfológicas (Freitas, 1995);
- Lineamento Sesimbra – Ribeira da Ferraria, coincidente com o bordo oriental do diapiro de Sesimbra com prolongamento para NW pela Ribeira da Ferraria (Freitas, 1995);
- Falha “provável” da Ribeira de Coima (Azevedo, 1982);

2.4. Enquadramento geomorfológico

2.4.1. Península de Setúbal

De acordo com Ribeiro (1935 *in* Rodrigues 2004), a Península de Setúbal é descrita resumidamente da seguinte forma: “O observador que, em dia claro, de um ponto alto de Lisboa, alongar a vista para Sul, encontra, passada a largueza do estuário do Tejo, uma extensa planície adjacente a uma cortina de elevações que fecha por este lado o horizonte. É a cordilheira da Arrábida, pequena região montanhosa, situada na parte meridional da Península de Setúbal; limitada a Sul e a Oeste pelo oceano, confinada a Norte pelas terras baixas e arenosas que ocupam a maior parte da Península.”

Geomorfológicamente, na Península de Setúbal encontram-se dois conjuntos de formas principais, segundo Pereira, 1988:

Formas estruturais, onde se enquadram a Serra da Arrábida e de S. Luís, de tipo anticlinal, e o alinhamento de relevos do tipo monoclinal, com direcção aproximadamente WSW-ENE.

A Plataforma Litoral, onde são encontrados, na vertente Norte, quatro níveis de aplanção escalonados, segundo Daveau & Azevedo, 1980-81, *in* Freitas, 1995:

a) Plataforma do Cabo Espichel. É o nível culminante e é considerado uma plataforma de abrasão por constituir um aplanamento perfeito, disposto marginalmente ao mar e onde se encontram seixos rolados de quartzito, ferruginizados (Pereira, 1988). Esta plataforma tem inclinação para Oeste e drenagem de um modo geral, para Sul.

b) Um *glacis* (nível dos cabeços) que hoje em dia se encontra quase totalmente destruído.

c) Amplo *glacis* (nível principal), que constitui uma nova aplanção, com inclinação suave e conservado entre os componentes da rede hidrográfica. Esta aplanção pode ter sido o resultado do abaixamento eustático do nível do mar ou do soerguimento ou balanceamento pirogénico suave e regular em todo o compartimento.

d) O nível do litoral e da Lagoa de Albufeira, que pode ter sido o resultado da erosão provocada pela acção de linhas tectónicas.

No lado Oeste da plataforma continental, encontram-se dunas, com altitude máxima na ordem dos 66 m, que se situam a Oeste da Aldeia do Meco.

De uma forma simplificada, a Península de Setúbal encontra-se dividida em três sectores:

A Cordilheira da Arrábida, constitui o primeiro sector e limita a Península na parte Sul, alongando-se entre o Cabo Espichel, a ocidente, e as regiões de Setúbal e Palmela. Trata-se do maior e mais vigoroso relevo da Península, com características dissimétricas (com vertentes mais abruptas olhando para Sul), do qual fazem parte as elevações de Formosinho, Serra de S. Luís, Gaiteiros, Risco, Píncaro, S. Francisco, Queimada, Picoto, entre outros.

O segundo sector é constituído por terras com cotas inferiores a 100 m, localizadas a Norte e a Este, que ocupam a maior parte da Península. É limitado a Oeste pelo Oceano Atlântico e a Norte pelo terceiro sector, a Norte de Almada. Este sector abrange o Sinclinal da Lagoa de Albufeira, à planície costeira da Costa de Caparica, e engloba as regiões de Barreiro, Seixal, Moita, Montijo, Alcochete, e parte das regiões de Almada, Setúbal e Palmela. De um modo geral, os relevos característicos são esbatidos, que têm continuidade morfológica para terrenos alagadiços dos estuários do Tejo e do Sado e que a Poente se materializam em sistemas praia-duna.

De dimensões mais reduzidas, existe o terceiro sector, que corresponde a cotas de 100 m. Este sector situa-se em pontos alguns pontos a Oeste, na Arriba Fóssil da Costa da Caparica, bem como a Norte da região de Almada. Esta região estende-se desde as proximidades de Cacilhas (Oeste) a Trafaria (Este), sendo limitada por escarpas abruptas que caem bruscamente sobre a parte final do estuário do Tejo, a Norte. A Sul, é limitada pelas terras baixas da Península de Setúbal.

Na região SW da Península de Setúbal destaca-se na morfologia o alinhamento constituído pela Lagoa de Albufeira – Ribeira da Apostiça, orientado ENE – WSW a E – W. Este eixo fluvial, de orientação anómala relativamente à restante drenagem regional, junto com outros factores, leva a crer a existência de uma falha ou flexura ao longo do alinhamento, cuja presença ainda não foi comprovada por dados geológicos. A superfície erosiva que estabelece contacto entre o Miocénico e as areias pliocénicas suprajacentes, a qual tende a ser regular e subparalela á estrutura miocénica, a Norte da Lagoa de Albufeira, adquire uma morfologia muito acidentada com abarrancamento profundo das formações miocénicas a Sul da Lagoa.

2.4.2. Rede Hidrográfica da Lagoa de Albufeira

A rede hidrográfica de determinada região depende de um conjunto de factores, que se relacionam entre si, tais como o clima, a cobertura vegetal a litologia e a geomorfologia. O escoamento superficial, na Península de Setúbal, apresenta fraca expressão uma vez que, de um modo geral a região apresenta fraca precipitação, forte evapotranspiração, as zonas planas predominam na região e as características litológicas permitem que ocorram infiltrações importantes. Segundo este registo, a rede hidrográfica da península é dividida em três grupos (Manuppella, 1999):

- Bacia da Lagoa de Albufeira;
- Ribeiras que drenam para o Estuário do Tejo;
- Ribeiras que drenam para o Atlântico;

Segundo Ribeiro, 1935, em termos de rede hidrográfica, as linhas de água da Arrábida constituem torrentes ou ribeiras.

As torrentes propriamente ditas, são cursos de água de forte desnível e percurso reduzido que ficam activas nas alturas em que ocorrem fortes precipitações.

As Ribeiras por outro lado, constituem cursos de água permanentes, i.é., possuem água, de um modo geral, durante todo o ano, e são cursos de água mais longos e regulares que as torrentes.

A Sul e a Oeste da área coberta pela folha de Setúbal predominam as pequenas bacias, com linhas de água curtas, pouco ramificadas e efémeras. É através delas que no período húmido, se processa a escorrência das águas precipitadas sobre os depósitos pouco permeáveis, calcários e argilo-carbonatados mesozóicos que formam as vertentes e as arribas litorais. A Norte do sistema montanhoso Arrábida-Palmela instalou-se a drenagem de tipo dendrítico irregular, nos terrenos planos do Miocénico, Pliocénico e Holocénico.

A Este, praticamente toda a drenagem é realizada pelas três ribeiras principais que desaguardam na Lagoa de Albufeira (Ribeiras da Aiana, Sachola e Apostiça). No litoral Ocidental, desaguardam pequenas torrentes ou ao nível do mar ou no extremo de vales suspensos da arriba. A Sul, ocorrem barrancos de pequenas dimensões e as Ribeiras da Mareta e do Cavalo (Freitas, 1995).

2.4.3. Bacia hidrográfica da Lagoa de Albufeira

A Lagoa de Albufeira pertence à Bacia Hidrográfica do Tejo que, pela sua dimensão, situação geográfica, produtividade aquífera e qualidade das águas constitui a província hidrogeológica mais importante do país. Em Portugal ocupa uma área de 24650 Km² e um comprimento de cerca de 230 Km (ARH Tejo - Administração da Região Hidrográfica do Tejo).

A sub-bacia hidrográfica da Lagoa de Albufeira é designada por Bacia das Ribeiras do Sul (Figura 5).

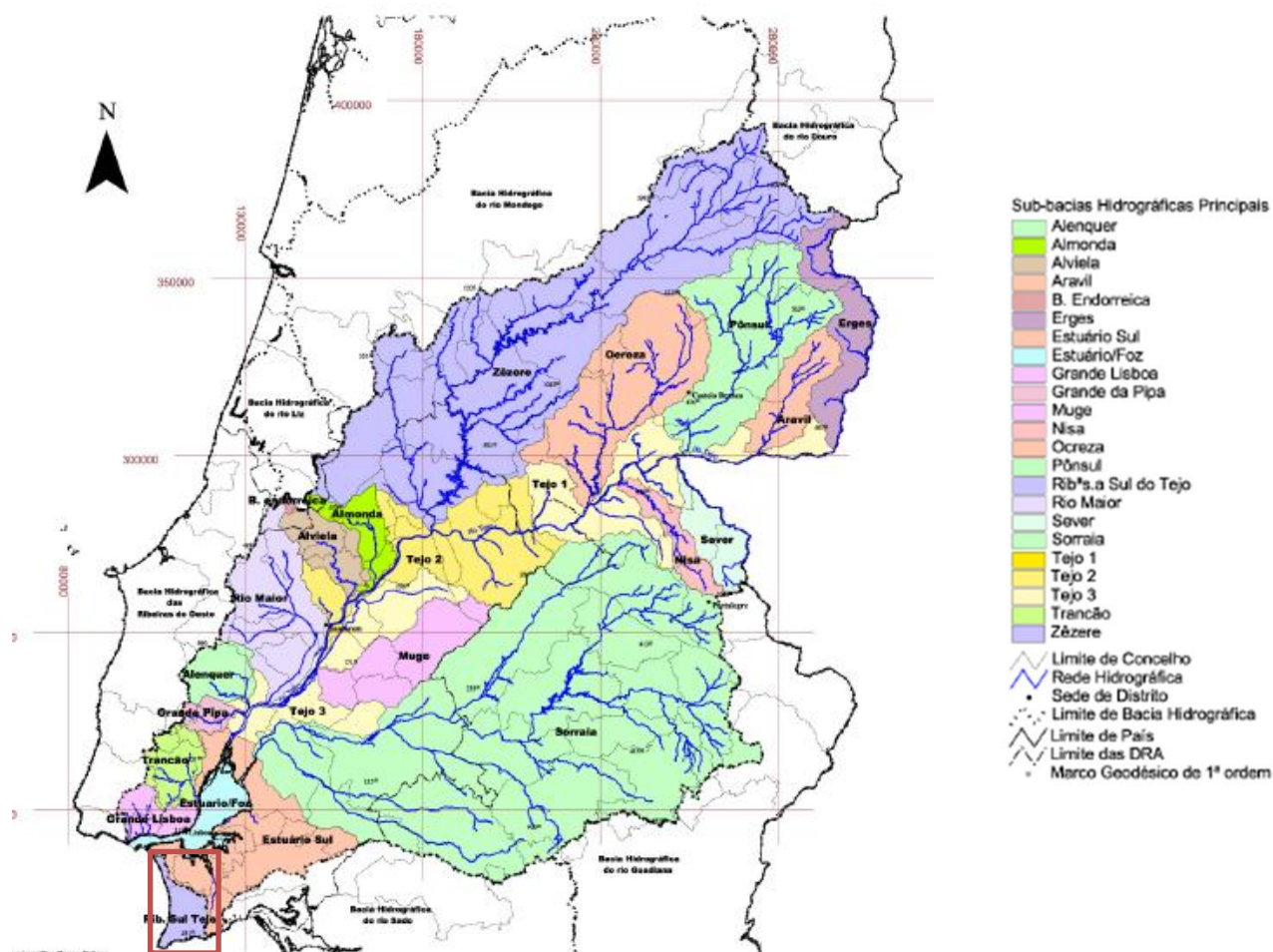


Figura 5 - Localização da bacia das Ribeiras do Sul (adaptado de <http://www.inag.pt>).

Tem um perímetro de cerca de 53 Km e ocupa uma área de aproximadamente 106 Km² (Freitas, 1995). É constituída por várias sub-bacias, sendo a mais importante formada pela confluência das Ribeiras da Apostiça (a montante designada por Ribeira da Pateira), da Ribeira Brava e do Vale da Vinha (afluentes da margem direita) e da Ribeira da Ferraria (afluente da margem esquerda). Esta sub-bacia desagua na Lagoa Pequena (Lado Este da Lagoa de Albufeira).

As sub-bacias da Ribeira da Aiana e da Ribeira da Sachola desaguam na margem esquerda da lagoa. Na margem direita, existem raras linhas de água, muito localizadas e pouco encaixadas. Isto deve-se à natureza arenosa da cobertura dunar e à grande densidade da cobertura vegetal que dificulta a instalação da rede fluvial. A drenagem é, de um modo geral, paralela, principalmente nas linhas de água a Sul, e pontualmente pode ser rectangular, quando é controlada por fracturação. O padrão de drenagem é, na grande maioria dendrítico ou arborescente. (Freitas, 1995).

De acordo com Daveau e Azevedo (*in* Freitas 1995), a parte terminal das principais ribeiras afluentes à Lagoa de Albufeira, possuem vales de fundo aluvial ou em caleira. O fundo é plano, com 100 a 150 m de largura e limitado por rebordos pouco elevados (10 a 20 m) mas íngremes (15% a 25%). De acordo com as mesmas autoras, estes vales deverão ter sido escavados por cursos de água muito activos, quando o nível do mar estava mais baixo que actualmente, tendo sido posteriormente preenchidos por aluviões.

A densidade média de drenagem é de 3.4Km/Km² (Fonseca, 1993), o que indica bacia bem drenada (Villela & Matos *in* Freitas 1995). O relevo máximo da bacia é 322 metros, com 80% da área com cotas abaixo dos 100 m.

Na Figura 6 está a representação esquemática dos sistemas que constituem o ambiente lagunar na Lagoa de Albufeira:

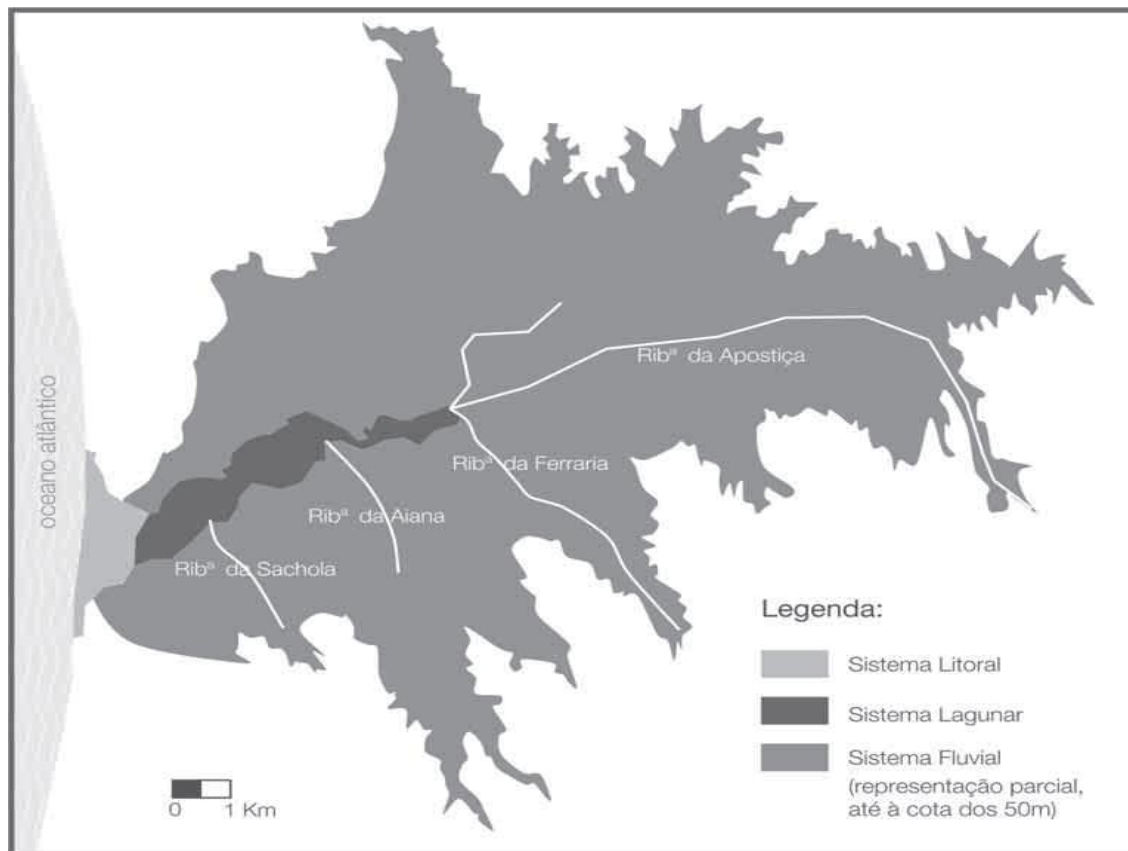


Figura 6 - Representação esquemática dos sistemas que constituem o ambiente lagunar na Lagoa de Albufeira (adaptado de Freitas et al., 2004).

2.5. Enquadramento climático

Os agentes climáticos exercem uma importante influência nos determinados tipos de ambientes, como no caso do ambiente lagunar existente na Lagoa de Albufeira. As características físico-químicas da Lagoa bem como o fluxo de contribuições externas e internas, entre outros, estão intimamente relacionados com os agentes climáticos.

Agentes tais como a chuva, precipitação ou evapotranspiração são fenómenos sazonais, pelo que introduzem modificações periódicas no sistema lagunar.

Devido à colocação geográfica do território de Portugal Continental, o país está enquadrado na zona temperada do Hemisfério Norte, correspondendo à zona das depressões subpolares: A temperatura do ar é moderada, as mudanças de estado do tempo são frequentes, provocadas pela passagem de depressões. No entanto, o território é sensível à influência da zona de anticlones subtropicais, caracterizados por céu limpo, ar seco e precipitação escassa (Freitas, 1995, *in* Rodrigues, 2004).

Segundo Rodrigues (2004), o clima que se faz sentir no rebordo meridional da Arrábida é classificado de mediterrâneo, abrigado das influências setentrionais, diferenciando-se da restante Península que, por sua vez pertence à região climática de transição, com alternância entre períodos atlânticos e continentais.

Nas proximidades da bacia da Lagoa de Albufeira a estação meteorológica utilizada para a caracterização climática é a de Sesimbra/Maçã, bem como a estação udométrica em Vila Nogueira de Azeitão segundo Reis & Gonçalves (1981). Para a caracterização do parâmetro vento são referidas as estações do Cabo da Roca e do Cabo Espichel.

Agentes climáticos

1. Temperatura

A distribuição da temperatura numa determinada região é condicionada por diversos factores, tais como, o regime de ventos e a proximidade de grandes superfícies de água (Reis & Gonçalves, 1981). Foram considerados os dados obtidos através da estação meteorológica de Sesimbra/Maçã no período 1941/1970 e verificou-se que, na Península de Setúbal, os valores da média anual da temperatura diminuem de Norte (17°C) para Sul (15°C). Com base na mesma estação registou-se um valor de temperatura média mensal mínima no mês de Janeiro (9,3°C) e um valor máximo no mês de Agosto (22,6°C).

2. Precipitação

Através da análise dos valores de precipitação média anual e mensal do período de 1941/70 (Reis & Gonçalves, 1981) e no período 1953/82 (DGRH, 1984), conclui-se que os valores médios de precipitação mensal, para as estações de Sesimbra/Maçã e Vila Nova de Azeitão, atingem um máximo habitualmente nos meses de Janeiro, Março e Dezembro. Os valores mínimos são atingidos, de um modo geral nos meses de Julho e Agosto.

No período de 1941/70, para as estações consideradas, verifica-se que a quantidade de precipitação média anual foi maior na estação de Vila Nova de Azeitão (646,3 mm) do que em Sesimbra/Maçã (639,2 mm), apesar de serem valores muito semelhantes.

3. Vento

Para o período de 1953/70, a velocidade média do vento é de um modo geral superior na estação de Sesimbra/Maçã, atingindo um máximo de 12,3 Km/h para os ventos de Sul, enquanto na estação do Cabo da Roca a velocidade média máxima neste período foi de 16,2 Km/h. Os ventos predominantes na primeira são os de rumo NE que se fazem sentir em 25,4% do ano, seguindo-se os de NW (24,8%/ano). A frequência das calmas (ventos com velocidades inferiores a 2 Km/h) é inferior a 3%.

Na estação do Cabo da Roca predominam os ventos de Norte (32,3%/ano) e os de NW (21,4%/ano). A frequência das calmas verificada foi cerca de 4,8%.

4. Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial, calculada através do método de Thornthwaite, para a estação de Sesimbra/Maçã, no período de 1953/70 (Reis & Gonçalves, 1981) atinge o máximo nos meses de Julho (109,0 mm) e Agosto (104,7 mm). O mínimo é atingido em Dezembro (25,6 mm) e Janeiro (24,5 mm). A evaporação média anual atingiu os 740,9 mm para o período considerado.

Classificação climática:

De acordo com a classificação simples (Reis & Gonçalves, 1981), o clima é temperado, oceânico na faixa litoral até cerca de 10 Km da costa e moderado na restante região. Em relação à humidade do ar e à precipitação, o clima é considerado húmido e moderadamente chuvoso em toda a região.

De acordo com a Classificação de Koppen (Reis & Gonçalves, 1981), o clima é mesotérmico húmido, com estação seca no verão pouco quente (Csb).

A classificação de Thornthwaite (Reis & Gonçalves, 1981), refere-se ao clima como sub-húmido seco (Tipo C1).

De acordo com o Climograma realizado para a estação de Sesimbra/Maçã, no período 1941/70 (Freitas 1995), e segundo os limites atribuídos por Koppen (Reis & Gonçalves, 1981) de 40 mm para a precipitação e 18°C para a temperatura do ar, verifica-se que o ano divide-se essencialmente em duas estações com duração desigual: estação fria e chuvosa, que se inicia no mês de Outubro e que se prolonga até Abril; e uma estação seca e quente, desde Junho até Setembro. Existe ainda uma estação de transição durante o mês de Maio, onde o clima é seco e frio.

Segundo Albuquerque, 1964 *in* Rodrigues, 2004, a área em estudo tem um clima de feição litoral, húmido de 1º grau, do tipo atlante-mediterrâneo (AM).

2.6. Enquadramento hidrogeológico

Aptidão aquífera das formações

Nos depósitos dendrítico-carbonatados do Mio-pliocénico, que preenchem o sinclinal da Lagoa de Albufeira e continuam pela Bacia do Rio Tejo existe um aquífero multicamada, de grande potencia, heterogéneo e anisótropo, de superfície livre à escala regional. As suas águas são utilizadas para abastecimento dos municípios situados a sul do Tejo (uso doméstico, agrícola e industrial), constituindo a única fonte alternativa viável para o efeito. Este sistema aquífero exhibe comportamento de aquífero semi-confinado quando sujeito a bombagens, pois a estabilização dos níveis é atingida com certa rapidez em resultado da solicitação dos aquíferos sub e sobrejacentes. No entanto, o aquífero em exploração pode variar entre livre, confinado e semi-confinado no decorrer do tempo. Este sistema aquífero apresenta diferenciação hidrogeológica, uma vez que existem diferenças relevantes ao nível da composição físico-química das águas e do funcionamento hidráulico. Desta forma o aquífero é dividido em sub-unidades, apresentadas de seguida, do topo para a base:

- Unidade Aquífera Pliocénica

Esta unidade é constituída por areias finas a grosseiras com cor vermelha ou esbranquiçada e, com intercalações argilosas e/ou argilo-arenosas. Tem espessura máxima de cerca de 215 m no Pinhal Novo, sendo que na Apostiça tem uma espessura de 16,5 m. As águas captadas nesta unidade são pouco mineralizadas (inferior a 150 mg/l), pouco duras, a transmissividade é na ordem dos 132 m²/dia e o caudal específico médio de 1,7 l/s/m.

- Unidade Aquífera Miocénica

Esta unidade tem espessura máxima de 182 m na Quinta do Anjo e é constituída por depósitos arenosos finos a grosseiros, margas e calcários areno/argilosos que antecedem as areias pliocénicas. As águas desta unidade caracterizam-se por valores de bicarbonatos na ordem dos 340 mg/l, sendo, no geral medianamente mineralizadas (530 mg/l). A dureza média é cerca de 34°F e o cálcio 89 mg/l. A transmissividade média é cerca de 14,5 m²/dia e o caudal específico de 0,5 l/s/m (Manuppella *et al.*, 1999).

Funcionamento hidráulico e qualidade das águas

A principal fonte de alimentação do sistema aquífero é a água da chuva que se infiltra através do solo, até encontrar a superfície saturada. No aquífero, a água tende a acompanhar subterraneamente o desenvolvimento da rede de drenagem superficial, para a Lagoa de Albufeira e para o Rio Tejo. Especialmente na região da Lagoa, a sobreexploração do aquífero e a concentração abusiva de captações pode causar o rebaixamento dos níveis piezométricos, permitindo a intrusão marinha, uma vez que esta situação pode causar a inversão do fluxo (Manuppella *et al.*, 1999).

Segundo Manuppella *et al.*, 1999, a região coberta pela carta geológica 38 – B de Setúbal, a projecção dos parâmetros físico-químicos das águas captadas no Pliocénico e no Miocénico, sobre o diagrama logarítmico Schoeller/Berkaloff, que reúne as condições de composição química da água de acordo com a potabilidade definida pela norma da EU, mostra em termos gerais que, salvo fenómenos modificadores da sua qualidade relacionados com contaminações, todas se agrupam no campo das águas potáveis.

A aptidão das águas subterrâneas para irrigação pode avaliar-se através da classificação U.S. Salinity Laboratory Staff, baseada na concentração total de sais solúveis e na concentração relativa de sódio em relação ao cálcio e magnésio. A aplicação desta metodologia permitiu concluir que:

- Águas do Pliocénico – Podem ser usadas na maior parte das culturas e tipos de solo sem perigo de os salinizar e com escassas possibilidades de alcançarem elevadas concentrações de sódio.
- Águas do Miocénico – São de qualidade razoável e podem ser utilizadas em culturas moderadamente tolerantes aos sais, a muito tolerantes. Quando a mineralização aumenta fazendo com que a condutividade exceda os 50 micro-ohm/cm, as águas apenas devem ser utilizadas em solos com drenagem adequada e havendo controlo de salinidade.

3. Revisão da Literatura

Caracterização histórica do sistema aquífero

Os primeiros estudos hidrogeológicos realizados na Bacia do Baixo Tejo datam de 1955 (Pezerat), quando o abastecimento de água a Lisboa constituía uma dificuldade devido à escassez de recursos, resultado de uma bacia pouco extensa e produtiva. A partir dos anos 30, os estudos hidrogeológicos tornaram-se mais frequentes com a pretensão de captar águas aluvionares na margem direita do Rio Tejo numa área de 62 Km² (Simões, 1998).

Foram estudadas as Aluviões do Tejo. Prinz & Wieland, 1936 *in* Simões, 1998, avaliaram a precipitação média anual em 720 mm/ano e apontaram como fonte de recarga o Maciço Calcário Estremenho. Consideraram o aquífero aluvionar constituído por duas camadas produtivas, uma com 20 m de espessura e outra com 30 m, situadas sob camada argilosa contínua que as protegia do efeito das marés, evitando a salinização das águas. Admitiram duas direcções de fluxo hídrico subterrâneo, uma paralela ao percurso do rio e outra perpendicular (Simões, 1998).

Branco apaixonou-se pela Hidrogeologia das aluviões do Tejo, a ponto de lhe dedicar numerosos trabalhos (1946/49/53/54/55/56/58/58a/62); nunca deixou de preconizar estudos esclarecedores de dúvidas, quanto às fontes de alimentação, regime hidrológico e hidráulico, que não descurassem as variações da qualidade química das águas.

Em 1973, tem início um processo plurianual, negociado entre o Governo Português e as Nações Unidas, que compromete as partes a estudar e a avaliar os recursos hídricos subterrâneos da Península de Setúbal. Neste contexto da responsabilidade do técnico francês TRAC (1980, *in* Simões 1998) e executado por técnicos portugueses, aparece o modelo matemático (bicamada) para simular o funcionamento hidráulico do aquífero Mio-Pliocénico.

É da autoria do Eng.º Moitinho de Almeida a primeira abordagem global sobre as águas subterrâneas do Cenozóico do Baixo Tejo. Em 1977, por incumbência da empresa Profabril, ficou de apresentar um estudo acerca do armazenamento. Adianta valores para as transmissividades entre $3,5 \times 10^{-3}$ m²/s, em Espadanal, e 4×10^{-2} m²/s, em Mitrena, e o coeficiente de armazenamento de 10^{-3} , em Valada, 7×10^{-4} , na Siderurgia Nacional, e 8×10^{-5} , em Soltroia. O balanço hidrológico permitiu-lhe estimar a precipitação média anual ($4,2 \times 10^9$ m³/ano); o escoamento médio anual (109 m³/ano); a infiltração ($0,298 \times 10^9$ m³/ano) e as perdas por evapotranspiração (451 mm/ano).

Mendonça, 1991, *in* Simões, 1998, apresentou à Universidade de Coimbra uma dissertação para obtenção de grau de Doutor, acerca do sistema aquífero aluvionar do Vale do Tejo, desde Vila Nova da Barquinha a Alverca. Teve por principal objectivo reproduzir, por intermédio de um modelo numérico tridimensional, o escoamento no sistema aquífero.

Em 1993, a Comissão de Coordenação da Região de Lisboa e Vale do Tejo, a Direcção Geral dos Recursos Naturais, a Operação Integrada de Desenvolvimento da Península de Setúbal, a Associação dos Municípios do Distrito de Setúbal e a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL) celebraram um protocolo que atribuía à EPAL a coordenação e responsabilização

pela efectivação da elaboração de estudos e projectos, visando o reforço global do abastecimento de água à península de Setúbal.

Referente a este tema, Saramago & Miranda, 1994, *in* Simões, 1998, escrevem: “No âmbito daquele protocolo surge a primeira fase dos estudos de caracterização dos aquíferos e dos consumos de água na Península de Setúbal. Tratou-se de um estudo de natureza estratégica que, visando questionar as orientações que têm sido seguidas e as práticas delas decorrentes e, ao mesmo tempo, estabelecer limites de orientação para o futuro, tinha como objectivos principais:

- a estimativa das necessidades de água até ao ano 2020 e da sua distribuição espacial na Península de Setúbal;
- a avaliação dos recursos hídricos utilizáveis da região, nomeadamente das águas subterrâneas, que podiam ser exploradas sem pôr em causa a sua qualidade;
- a antevisão da inevitável evolução dos sistemas e origens de água, preparando-os antecipadamente para satisfazerem as futuras necessidades de abastecimento dos grandes consumidores urbanos, industriais e agrícolas”.

Dos estudos retiraram-se conclusões de ordem quantitativa e qualitativa, capazes de influenciar futuros desenvolvimentos. Dentre outro tipo de conclusões, as que dizem respeito directamente ao aquífero são (Saramago & Miranda, 1994, *in* Simões, 1998):

“– Os recursos hídricos subterrâneos na Península de Setúbal, ainda disponíveis, atingem os 400 000 m³/dia (146 hm³/ano);

- No horizonte do projecto (2020), os recursos hídricos subterrâneos poderão satisfazer, na totalidade ou parcialmente, os consumos que se registarem, dependendo o grau de satisfação da evolução das necessidades de água, da manutenção da qualidade das águas dos aquíferos e da relação entre o custo de água produzida na região e da água importada de bacias hidrográficas vizinhas;
- As futuras obras de captação terão de ser disseminadas e localizadas na zona interiormente fronteira da Península de Setúbal, por forma a evitar o aparecimento de problemas derivados da intrusão da cunha salina e a facilitar a afluência dos escoamentos subterrâneos provenientes de áreas a montante da Península;
- À medida que os consumos aumentam e as potencialidades do aquífero são exploradas mais profundamente a cota piezométrica no local baixa drasticamente;
- Se as novas origens de água forem executadas na área de influência de furos e poços já existentes, o rebaixamento dos níveis piezométricos dará origem à progressiva inutilização e desadaptação das estruturas actuais;
- As características da água captada e a captar, obrigam a um esquema de tratamento relativamente completo, com custos de exploração e manutenção importantes.

A geometria das formações geológicas permite considerar dois aquíferos principais, um superficial, livre, e outro profundo, confinado a semi-cativo, separados por um aquífero.” (Simões, 1998).

Como foi referido, existem dados acerca da caracterização geral da Bacia do Baixo Tejo, no entanto, os dados acerca da hidrogeologia da região da Lagoa de Albufeira são escassos. À excepção de algumas análises químicas e microbiológicas realizadas pelo Instituto Ricardo Jorge nos furos e poços dos residentes e solicitadas pelos próprios, não foram realizados estudos hidrogeológicos no local, bem como nunca foram realizados quaisquer estudos para apurar as interferências marinhas na água subterrânea. É esta a lacuna que se tenta preencher com o presente trabalho, perante a realização de um modelo conceptual que traduza o funcionamento do sistema água subterrânea, incluindo estudos de natureza química e sempre tendo em conta a dualidade barra aberta/barra fechada.

Caracterização histórica do ambiente lagunar

Pode encontrar-se a Lagoa de Albufeira cartografada em mapas desde o sec. XIV. No entanto, tais traçados devem ser verificados com precaução uma vez que os processos cartográficos na altura para além de serem rudimentares, existia a tendência de se exagerarem certos pormenores (Ribeiro *et al.*, 1987). Apesar da opinião geral ser que o traçado da costa se tem vindo a simplificar, é impossível saber com certeza como seria o traçado na altura e a sua evolução. Até à primeira metade do século XIX, a escala dos mapas era bastante reduzida, o que agrava ainda mais a sua qualidade aquando da intenção de traçar um perfil evolutivo.

Uma das grandes problemáticas tem sido a dualidade barra aberta/barra fechada. Até ao início do séc. XVIII predominam as representações da Lagoa com a barra aberta e a partir da segunda metade do séc. XVIII predominam as representações com a barra fechada. Discutiram-se bastante as razões desta alternância, apontando-se para períodos efectivos de barra aberta/barra fechada e não erros de cartografia.

O primeiro a escrever sobre a Lagoa de Albufeira foi Martins (1947), aquando da análise da carta delineada por Bandeira Ferreira (1383-1385) onde indica que a lagoa tem contacto directo com o mar. Por outro lado, segundo Castelo Branco (1957, 1980), existe um documento que data de 1415 onde indica a existência de um juiz “que tinha cartas dos reis que pudesse mandar constranger o concelho de Almada e de Sesimbra e Dadiça que viessem abrir a Lagoa dalbofeira quando se serrava”.

Ribeiro (1872) refere-se à existência, a Norte do Cabo Espichel de “... um medão de areia de alguns metros de altura, cujo talude exterior forma a praia, ao mesmo tempo que funciona de barragem às águas da Ribeira da Apostiça, e interceptando a sua comunicação com o oceano e a entrada d’este no largo leito d’aquella ribeira, ao que deve a sua formação a Lagoa de Albufeira. Aquella barragem é frequentes vezes cortada pelo povo da localidade, dando assim despejo às águas da lagoa na maré vazia, e acesso à água do mar na enchente, sendo um dos fins d’este trabalho aproveitarem a pescaria que lhe fornece, já imediatamente, já pela creacção que depois se desenvolve na lagoa”.

Em alguns documentos é referido que as maiores diferenças no contorno lagunar ocorrem na foz das principais Ribeiras, não tendo a restante morfologia da Lagoa sofrido grandes

alterações nos últimos 150 anos, no entanto, segundo o estudo “Ordenamento Biofísico do concelho de Sesimbra” da Secretaria de Estado do Ordenamento e Ambiente (1980) e Peneda & Dias (1986) apresentam uma comparação cartográfica da Lagoa, entre 1849 e 1975, tendo concluído, sem atenderem às diferenças entre os planos de água, que as principais modificações ocorreram na foz das Ribeiras da Aiana e da Apostiça; embora algum assoreamento aí possa ter lugar, não é, de modo algum, o sugerido pelas figuras que constam daquelas duas publicações (Freitas, 1995).

Composição da água da lagoa

Freitas (1995) estudou as características físico-químicas da água da Lagoa de Albufeira e a sua íntima relação com a dualidade barra aberta/barra fechada e que “são controladas pela fluência e intensidade das trocas que existam da água do mar, e pela quantidade de água doce introduzida no sistema”, também referindo a importância dos parâmetros climáticos. Freitas, na sua tese de doutoramento, realizou campanhas em situações de barra aberta/barra fechada onde comparou esses mesmos parâmetros.

Para além de outros parâmetros, Freitas estudou a salinidade e verificou que “ocorrem grandes modificações de salinidade durante um ciclo barra aberta/barra fechada”, sendo consideravelmente maior, de um modo geral, em situação de barra aberta. A temperatura, que diminui com a profundidade e tem intensa relação com a temperatura do ar, pelo que de um modo geral, em período de barra aberta a temperatura da água será maior;

A lagoa de Albufeira é, desde 1996, considerada uma Zona Húmida de Importância Internacional, no âmbito da convenção sobre Zonas Húmidas (Sitio Ramsar). O Estado português candidatou este local como Sitio de Interesse Comunitário ao abrigo da directiva Habitats 92/43/CEE, transposta para o Direito Português pelo Decreto-Lei nº 140/99 de 24 de Abril para a conservação dos habitats ameaçados ao nível da Europa. A lagoa pequena foi designada pelo Estado como Zona de Protecção Especial ao abrigo da Directiva Aves 79/409/CEE, transposta para o Direito Português pelo decreto-lei nº 140/99 de 13 de Abril para a conservação das populações de aves selvagens. A Lagoa de Albufeira foi designada pela SPEA/BirdLife International como Zona Importante para Aves, sendo os limites desta zona de protecção coincidentes com os da zona de protecção coincidentes com os da Zona de Protecção Especial.

4. Hidrogeoquímica

O estudo da composição físico-química das águas superficiais e subterrâneas é de grande importância no reconhecimento hidrogeológico. Reflecte os processos de interacção água-rocha nos aquíferos e denunciam a ocorrência de fenómenos que modificam a composição das águas, nomeadamente os relacionados com misturas de águas com diferentes composições. O estudo das características físico-químicas das águas lagunares, das ribeiras, dos poços e furos permite, para além dos factores anteriores, fazer uma avaliação do sistema água superficial/água subterrâneo da região da Lagoa de Albufeira em termos de qualidade da água para os vários fins e interacções entre os referidos subsistemas. É possível estudar as mudanças implícitas segundo a dualidade barra de maré aberta/barra de maré fechada, bem como controlar a quantidade e composição da água que entra em cada subsistema.

4.1. Amostragem e métodos analíticos

No campo, foram inventariados furos e poços, bem como locais de escoamento de águas superficiais em direcção à lagoa.

Para amostrar a água subterrânea, uma vez que a maior parte dos poços e /ou furos na zona são privados, foi necessário frequentemente entrar em contacto com os proprietários das habitações onde se situa o furo e/ou poço a analisar e pedir autorização aos próprios para recolher amostras para análise dos seus parâmetros. Isto dificultou muito o trabalho de amostragem, nomeadamente na campanha de Inverno (C2 barra aberta), quando as moradias não estavam habitadas.

Alguns parâmetros foram medidos *in situ*, como o nível de água nos poços e a sua profundidade, bem como o pH, a temperatura da água, a condutividade eléctrica e o potencial de oxidação-redução. As análises químicas das águas foram analisadas no Laboratório de Análise de Fluídos do Departamento de Geologia da FCUL (GeoFCUL).

Com o objectivo de se identificarem processos de mistura ocorrentes nas águas subterrâneas, procedeu-se à recolha de amostras para a realização de análises isotópicas de $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ no Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN). A precisão analítica é de 1,0 ‰ para o $\delta^2\text{H}$ e de 0,1 ‰ para o $\delta^{18}\text{O}$.

A recolha de águas para amostragem incidiu não só em furos, poços e ribeiras, mas também englobou alguns pontos de amostragem de águas da lagoa, à superfície. As amostras da lagoa e dos poços foram recolhidas com o auxílio de um balde.

Para uma melhor compreensão dos gráficos e tabelas presentes neste relatório é frequente a referência das amostras dos furos por Falb, poços por Palb, ribeiras por Ralb e as amostras recolhidas na lagoa por Lalb. Em outras situações poderão surgir apenas referenciadas com a letra A, seguindo-se o número da amostra.

Os pontos de amostragem Lalb17, Lalb24, Lalb25 e Lalb26 correspondem a águas recolhidas na lagoa em locais de confluência de linhas de águas superficiais. Não foi feita a recolha de amostras nas ribeiras Ralb12 e Ralb19 uma vez que em ambas as campanhas se

encontravam secas. No ponto referenciado por Lalb16 foi apenas verificada a condutividade eléctrica e no Lalb18, para além da condutividade foi realizada a leitura do pH, não tendo sido recolhida qualquer amostra de água nos dois locais para posterior análise.

As águas recolhidas na lagoa são bastante mais mineralizadas que as dos furos, poços e ribeiras, visto tratar-se de uma lagoa costeira. Desta forma, foi necessário, frequentemente, tratar os dados referentes às águas da lagoa à parte, construindo diagramas distintos, com diferentes escalas de valores.

Com vista ao estudo da dinâmica do sistema água superficial/água subterrânea da Lagoa de Albufeira foram realizadas duas campanhas:

Campanha 1 (C1) – Realizada em Junho de 2011, em condições de barra de maré aberta. Neste período, a ocorrência de aguaceiros foi frequente, pelo que isso poderá influenciar os resultados do presente estudo, podendo as águas superficiais recolhidas apresentar alguma diluição com água de precipitação. Os pontos de amostragem estão representados na Figura 7.

Campanha 2 (C2) – Realizada em Fevereiro de 2012, em condições de barra de maré fechada. Este Inverno foi atípico em termos de precipitação, uma vez que desde o fecho da barra até à realização da campanha 2 (C2 barra fechada) não choveu, o que poderá ter influência nos resultados finais. Os pontos de amostragem estão representados na Figura 8.

Campanha 1

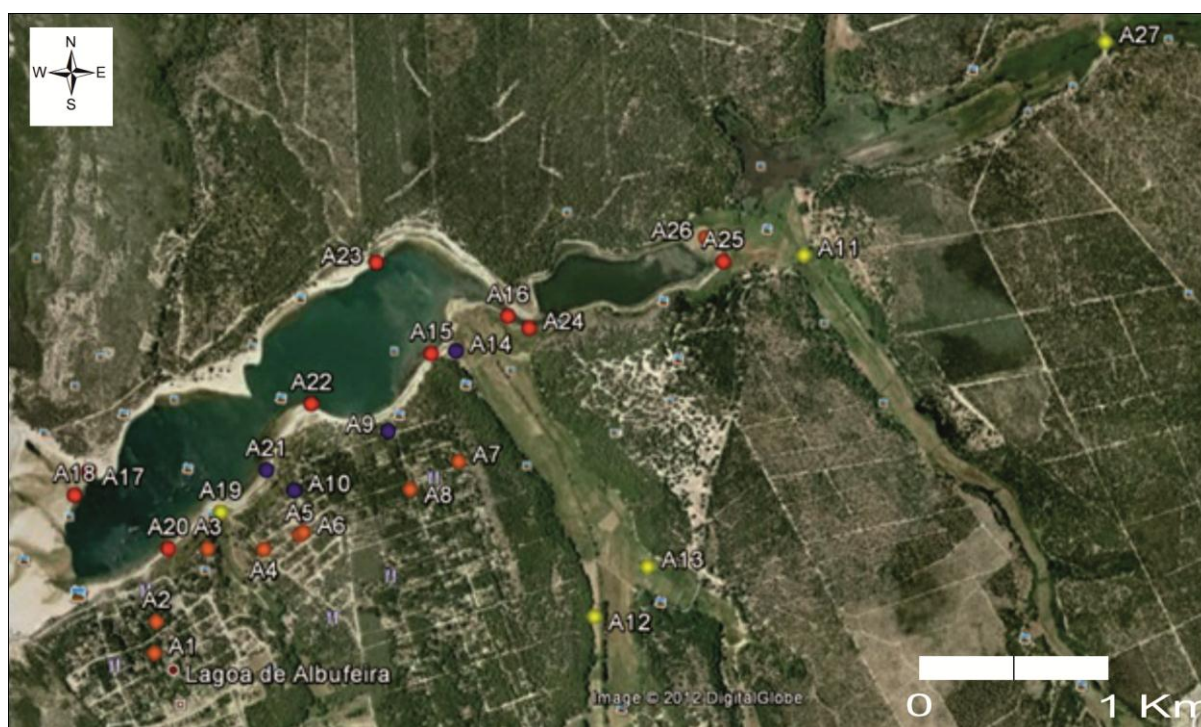


Figura 7 - Localização das amostras das águas em estudo em condições de barra aberta (C1). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.

Nesta campanha foi também realizada a medição de níveis piezométricos em poços, para além dos assinalados anteriormente, porém, a recolha de amostras para análise não foi

possível devido às condições dos mesmos. Os referidos poços serão tratados no capítulo reservado para a Hidrodinâmica.

Campanha 2

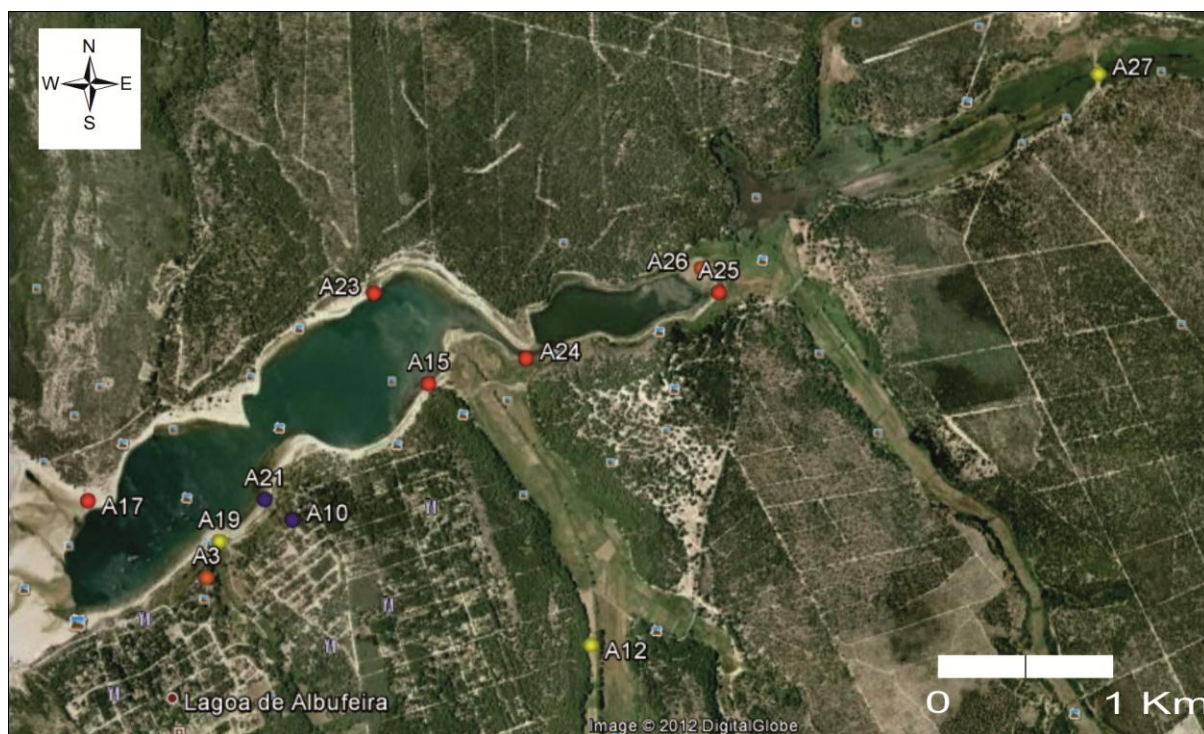


Figura 8 - - Localização das amostras das águas em estudo em condições de barra fechada (C2). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.

4.2. Parâmetros medidos no campo

Os parâmetros medidos no campo foram o pH, a temperatura, o potencial de oxidação-redução e a condutividade eléctrica.

A sua medição foi realizada *in situ*, através de potenciómetros e, no caso da condutividade eléctrica, foi utilizado um condutivímetro.

4.2.1. Resultados

Na Tabela 1 estão representados os resultados dos parâmetros físico-químicos medidos no campo, durante a 1ª campanha de amostragem (C1), em condições de barra aberta, em Junho de 2011.

Tabela 1 - Parâmetros obtidos no campo para as amostras de água estudadas em condições de barra aberta (C1). Cond representa a condutividade eléctrica.

Amostra	pH	T(°C)	Cond (µs/cm)	Eh (mV)
FAIb 1	7,2	20,4	1079	180
FAIb 2	6,3	22,5	739	93
FAIb 3	7,6	20,4	723	184
FAIb 4	6,9	18,9	1443	208,1
FAIb 5	7,1	19,5	1019	128
FAIb 6	6,4	22	680	127
FAIb 7	7,5	20,4	736	142
FAIb 8	6,4	20,2	786	155,2
PAIb 9	6,8	21,9	855	178
PAIb 10	6,5	20,5	850	255
PAIb 14	7,7	19,3	826	201,4
PAIb 21	6,4	18,5	1680	200
RAIb 11	7,8	19,3	480	209
RAIb 13	6,4	18,2	279,5	127,3
RAIb 27	7,3	18,1	1177	173
LAIb 15	8,1	20,8	49300	121,4
LAIb 16			48700	
LAIb 17	8,1	21,7	55100	95
LAIb 18	8,1		55400	
LAIb 20	8,1	23,3	55900	164,6
LAIb 22	8,2	22,4	56100	162
LAIb 23	7,9	23	54000	152
LAIb 24	7,6	21,9	36000	-2,8
LAIb 25	8,0	23,7	54500	102,3
LAIb 26	7,6	23,4	39000	152

Na Tabela 2 estão representados os resultados dos parâmetros físico-químicos medidos no campo, durante a 2ª campanha de amostragem (C2), em condições de barra fechada, em Fevereiro de 2012.

Tabela 2 - Parâmetros obtidos no campo para as amostras de água estudadas em condições de barra fechada (C2). Cond representa a condutividade eléctrica.

Amostra	pH	T(°C)	Cond (µs/cm)	Eh (mV)
FAIb 3	7,9	14,9	898	228
PAIb 10	7,3	15,7	1101	215
PAIb 21	6,7	13,8	998	260
RAIb 27	7,9	11,2	697	220
LAIb 15	8,3	15,8	44210	198
LAIb 17	8,3	15	44260	180
LAIb 23	8,3	15,4	37410	212
LAIb 24	8,2	12,8	27860	205
LAIb 25	8,4	11,9	43570	185
LAIb 26	8,4	12,3	43590	197

4.3. Parâmetros analisados em laboratório

Análise de CO₂ livre na água

A análise do CO₂ livre na água foi realizada através de titulação com uma solução NaOH 0,0227N, até à obtenção do pH 8,3.

Determinação da Alcalinidade da água

A alcalinidade da água foi determinada por titulação com uma solução de H₂SO₄ 0,1N (0,05M), até atingir o pH de 4,45.

Determinação da dureza total da água

A dureza da água é uma propriedade relacionada maioritariamente com a concentração dos iões cálcio e magnésio, mas também dos iões zinco, estrôncio, ferro ou alumínio.

A dureza total foi determinada por titulação com a Solução A (Titriplex), até mudança da cor vermelha para cor verde.

Determinação do ião Cálcio

A dureza cálcica da água é a medida do seu conteúdo de sais de cálcio dissolvidos. Foi determinada através de titulação com a solução Titriplex III 0,1 mol/l (Na₂-EDTA.2H₂O), até mudança da cor rosa para cor violeta, indicando esta cor o ponto de equivalência.

Absorção atômica

Esta técnica foi utilizada para determinar as concentrações dos catiões Sódio, Potássio e Magnésio.

Cromatografia iónica

Os aniões foram determinados por cromatografia iónica um cromatógrafo marca DIONEX DX-300 com integrador SP4400.

4.3.1. Resultados

Na Tabela 3 estão representados os resultados analíticos obtidos para as amostras recolhidas durante a 1ª campanha (C1), em condições de barra aberta, em Junho de 2011.

Tabela 3 - Dados obtidos no laboratório para as águas estudadas em barra aberta (C1).

Amostra	CO ₂ (mg/l)	Alcalinidade (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Dt (mg/l)	k ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Br ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
FAIb 1	1	492	76,2	260	4,4	83,8	0,5	212,9	0,6	6,2	87,4	17	181,8
FAIb 2	1,6	55	20	114	3	60,8	0,02	153,7	0,5	39,1	53,1	15,5	67,1
FAIb 3	1	170	24	188	3,2	45,6	0,1	122,1		7,6	28,7	31,1	207,4
FAIb 4	2	240	99,4	348,1	12	107,4		226,2		81,3	104,7	24,2	292,8
FAIb 5	0,6	103	62,5	262	3,6	65,6		180,6	0,5	14,7	76,8	25,7	125,7
FAIb 6	1,2	64	30,5	160	3,5	47,4	0,2	115,9		33,6	41,7	20,4	78,1
FAIb 7	1	188	65,7	204	2,7	39,6		114,1		2,6	29,9	9,7	229,4
FAIb 8	1,2	58	52,1	194	3,6	54,6	0,1	149,4	0,5	53,9	58	15,5	70,8
PAIb 9	3,3	69	34,5	198	4,9	55		159,4	0,5	46,8	67,7	27,2	84,2
PAIb 10	1,4	87	67,3	216	8,2	57		102,3		32,3	142,9	11,6	106,1
PAIb 14	0,6	225	70,5	250	7,7	67,4	0,4	74		5,5	118,3	17,9	274,5
PAIb 21	1,4	57	48,1	198	4,4	59,5	0,03	146,9	0,5	46	54,1	18,9	69,5
RAIb 11	0,4	147	48,9	164	3,6	30,4		57,9		10,6	34	10,2	179,3
RAIb 13	0,8	25	16,8	62	1,9	34,4		60,9		4,6	15	4,9	30,5
RAIb 27	0,2	48	20,8	84	1	13	0,2	52,5		3,2	28,5	7,8	58,6
LAIb 15	0,2	126	561,1	6201	339	11869,2	1,3	20754,9	69	28,9	3363	1165,6	153,7
LAIb 17		125	2485	6901	467	13847,1	2,8	21567,3	69	25	3512,9	168,9	152,3
LAIb 20		126	440,9	7201,2	418,5	12187,3	2,7	21140,2	71	23,3	3452,5	1481,4	153,7
LAIb 22		123	480,1	6501	500,5	13395,3	4,7	21139,6	67,8	26,5	3439,1	1287,6	150,1
LAIb 23	0,2	132	400,8	6701,1	432	11464,2	2,3	20413,2	63,2	19,1	3299,8	1384,2	161
LAIb 24	0,4	130	280,6	4200,7	234,5	6581,3	1,9	13109,7	37,9	21,7	2028,8	849,2	158,6
LAIb 25	0,2	132	521	6501	430,5	10221,8	2,22	21005,8	70	20,1	3414,6	1262,7	161
LAIb 26	0,4	142	280,6	4400,7	240	8179,1	1,28	13521,8	40,7	1,7	2054,2	898,5	173,2

Na Tabela 4 estão representados os resultados analíticos obtidos para as amostras recolhidas durante a 2ª campanha (C2), em condições de barra fechada, em Fevereiro de 2012.

Tabela 4 - Dados obtidos no laboratório para as águas estudadas em condições de barra fechada (C2).

Amostra	CO₂ (mg/l)	Alcalinidade (mg/l)	Dt CaCO₃ (mg/l)	Ca²⁺ (mg/l)	K⁺ (mg/l)	Na⁺ (mg/l)	F⁻ (mg/l)	Cl⁻ (mg/l)	Br⁻ (mg/l)	NO₃⁻ (mg/l)	SO₄²⁻ (mg/l)	Mg²⁺ (mg/l)	HCO₃⁻ (mg/l)
Falb 3	6	154	200	70,4	1,6	44,6		104	0,2	3,6	36	5,9	187,9
Palb 10	27,6	174	308	88,8	9,5	39,2		50,2		58,2	127,1	20,9	212,3
Palb 21	34	55	144	28,8	3,5	55,4		93,5		40,9	52,4	17,5	67,1
Ralb 27	3,4	77	98	28	2	20,8		34,9	0,1	2,6	29,6	6,8	93,9
Lalb 15		120	4840	344	288	8050		16092,6	51,2	2,5	2499,9	966,7	146,4
Lalb 17	0,8	119	5000	336	301	11710	0,3	16088,3	51,2	6	2499,6	1010,4	145,2
Lalb 23		104	4180	296	267	8160	0,3	12643,8	39,4	3,1	1917,4	835,6	126,9
Lalb 24	2,8	135	3000	216	161	5780		8678,6	25,8	0,8	1292,2	597,5	164,7
Lalb 25		122	4940	336	298	10470		15475,8	49	1,1	2403,9	995,9	148,8
Lalb 26		121	4880	328	352,5	8500		14265,5	44,7	1	2194,3	986,1	147,6

4.4. Erro de balanço

A análise físico-química de uma amostra está sujeita a erros analíticos que podem comprometer o seu aproveitamento.

O erro balanço, é uma grandeza que representa a diferença entre o total de aniões e de catiões analisados numa água, que, visto as águas serem neutras, teoricamente o erro de balanço deveria ser 0% pois as cargas dos aniões e catiões anulam-se.

Segundo Custódio & Llamas, 1983, na prática, existe sempre uma diferença entre o somatório de aniões e o somatório de catiões, devido a erros acumulados de cada uma das determinações individuais e também por não terem sido consideradas contribuições iónicas menores.

Quando existem erros elevados estes podem ser devidos à existência de quantidades anormais de iões não considerados no balanço, ou a erros de análise ocorridos no campo e/ou em laboratório.

As percentagens dos erros de balanço (ERB) das amostras recolhidas neste trabalho foram calculadas através da seguinte expressão:

$$\text{ERB \%} = \frac{\sum \text{catiões} - \sum \text{aniões}}{\sum \text{catiões} + \sum \text{aniões}} \times 100$$

A percentagem do erro de balanço das amostras analisadas, correspondentes a barra aberta (C1) varia entre 0% a 18%. Para amostras recolhidas em condições de barra fechada esta percentagem assume valores entre 1% e 10%.

As análises com erros mais elevados foram objecto de requantificação, no entanto a amostra do furo Falb2 (C1 barra aberta) é a que tem o erro mais elevado, com 18% de percentagem de erro de balanço, tal como se pode verificar na Tabela 5:

Tabela 5 - Erros de balanço (%) das águas em estudo em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Erro de balanço (%)		
Amostras	Barra aberta (C1)	Barra fechada (C2)
Falb 1	10%	-
Falb 2	18%	-
Falb 3	13%	7%
Falb 4	10%	-
Falb 5	5%	-
Falb 6	5%	-
Falb 7	13%	-
Falb 8	8%	-
Palb 9	11%	-
Palb 10	7%	2%
Ralb 11	7%	-
Ralb 13	3%	-
Palb 14	6%	-
Lalb 15	1%	6%
Lalb 17	5%	10%
Lalb 20	0%	-
Palb 21	4%	1%
Lalb 22	4%	-
Lalb 23	0%	5%
Lalb 24	5%	7%
Lalb 25	7%	7%
Lalb 26	3%	3%
Lalb 27	15%	4%

4.5. Discussão

pH

Na Figura 9 estão representados os valores de pH obtidos nas amostras recolhidas durante as duas campanhas:

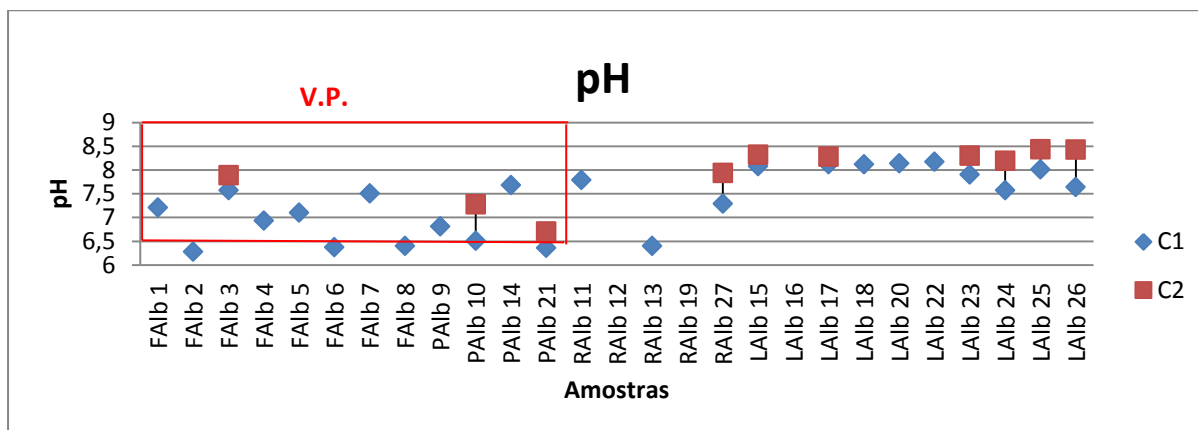


Figura 9 - Variação dos valores de pH para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2). V.P. corresponde aos valores de pH permitidos em águas para consumo humano segundo o decreto de lei nº 206/2007.

O pH das águas amostradas na campanha 1 variou entre 6,3 (FAlb2) e 8,2 (LAlb22).

Nos poços e furos o valor de pH mais baixo corresponde ao furo Falb2 (6,3) e o mais alto ao poço Palb14 (7,7). Nas ribeiras a variação é entre 6,4 (Ralb13) e 7,8 em Ralb11.

Na campanha 2, os valores de pH variam entre 6,70 (PAlb21) e 8,44 (LAlb25). Em relação aos poços e furos, o valor de pH mínimo corresponde ao poço Palb21 (6,7) e o máximo ao furo Falb3 (7,9). A ribeira amostrada nesta campanha (Ralb27) tem 7,9 de valor de pH.

Em todas as amostras analisadas o valor de pH é superior em situação de barra fechada (C2). As águas da Lagoa são as que têm valores de pH superiores e mais uniformemente distribuídos, em ambas as campanhas, variando entre 7,6 em lalb24 e 8,2 (Lalb17) em barra aberta e entre 8,2 (Lalb24) e 8,43 (Lalb25) em situação de barra fechada.

Com barra fechada, o pH da água é quase sempre superior a 8 dentro da lagoa, ao contrário do que seria de esperar pois o pH da água do mar é superior a 8 e a contribuição da água salgada é maior quando a barra está aberta.

Temperatura

Os valores da temperatura das águas recolhidas aquando da barra aberta (C1) variam entre 18,1 (RAlb27) e 23,7 (LAlb25), (Figura 10). Nos poços e furos a temperatura varia entre 18,5 (Palb21) e 22,5 (Falb2). Nas ribeiras o valor mínimo é em Ralb27 (18,1) e o máximo em Ralb11 (19,3). As temperaturas das amostras da lagoa oscilam entre os 20,8 em Lalb15 e 23,7 em Lalb25, sendo a lagoa que possui temperaturas superiores comparativamente aos poços, furos e ribeiras.

Em barra fechada (C2) a temperatura assume valores entre 11,2°C (RAlb27) e 15,7°C (PAlb10), (Figura 10). Os poços e furos têm temperatura mínima no poço Palb21 (13,8) e máxima em Palb10 (15,7), enquanto a ribeira Ralb27 tem 11,2°C de temperatura. Para as amostras da lagoa a temperatura mínima encontra-se em Lalb25 (11,9°C) e a máxima em Lalb15 (15,9°C). Os valores da temperatura das amostras recolhidas na lagoa são inferiores relativamente a este parâmetro nos poços, furos e ribeiras.

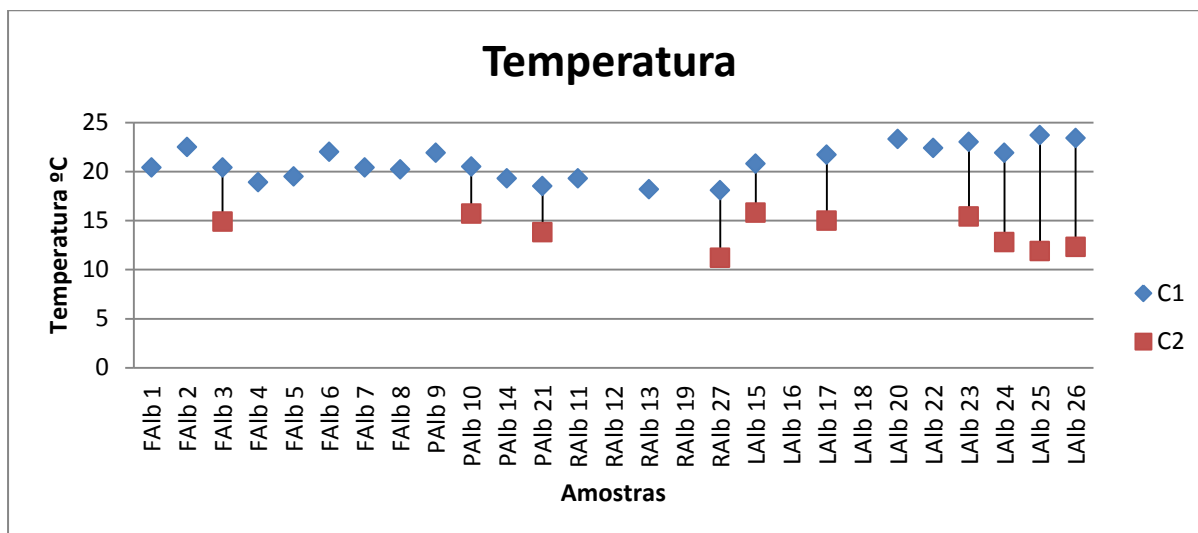


Figura 10 - Variação dos valores da temperatura para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Em todas as amostras recolhidas verifica-se que em situação de barra aberta (C1) as temperaturas das águas é mais elevada e estão relacionadas com as temperaturas do ar, também superior no mês de Junho.

Eh

Os valores do potencial de oxidação-redução (Eh) das águas recolhidas nos poços e furos em condições de barra aberta variam entre 93 mV no furo FAIb2 e 255 mV em PAIb10 (Figura 11).

O Eh nas ribeiras toma valores entre 127,3 mV, em RAIb13, e 209 mV em RAIb11, enquanto nas amostras recolhidas na lagoa tem o valor mínimo em LAIb17 (95 mV) e máximo em LAIb20 (164,6 mV).

Em condições de barra fechada (C2), nos poços e furos o Eh das águas varia entre 215 mV em PAIb10 e 260 mV em PAIb21, enquanto nas amostras correspondentes à lagoa o valor mínimo é de 180 mV em LAIb17 e 212 mV em LAIb23, com excepção da amostra da lagoa LAIb24 com Eh de -2,8 mV.

Todas as águas amostradas têm valores superiores de Eh aquando da barra fechada (C2), à excepção do poço PAIb10, onde se verifica uma diminuição.

O potencial de oxidação-redução (Eh) traduz o estado de oxidação das águas (Figura 11). Observa-se uma grande variação nos valores deste parâmetro, registados no campo, quer nas águas da lagoa, quer nas águas subterrâneas, embora todas apresentem estado oxidado à excepção da amostra LAIb24 (lagoa) durante a 1ª campanha, em barra aberta.

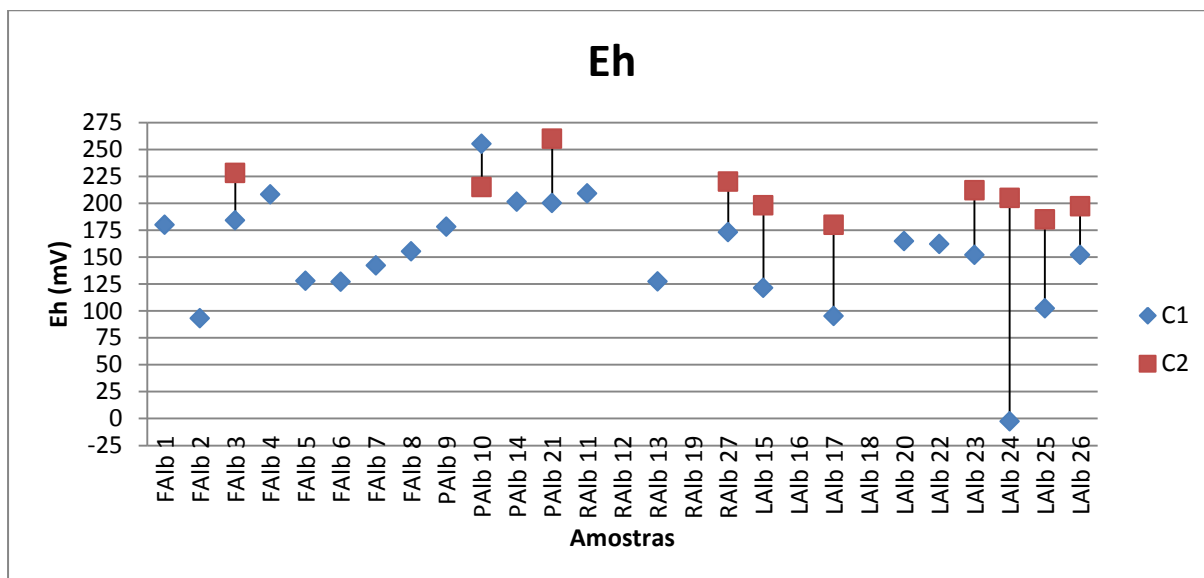


Figura 11 - Variação dos valores de potencial de oxidação-redução (Eh) para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

O ponto de amostragem Lai24 situa-se na lagoa, no local de confluência de água superficial proveniente da ribeira da Aiana, podendo o valor de potencial de oxidação-redução reflectir a entrada de água contaminada na lagoa, denunciando desta forma um ambiente redutor.

Condutividade eléctrica

Os valores de condutividade eléctrica obtidos estão representados nas Figuras 12 e 13:

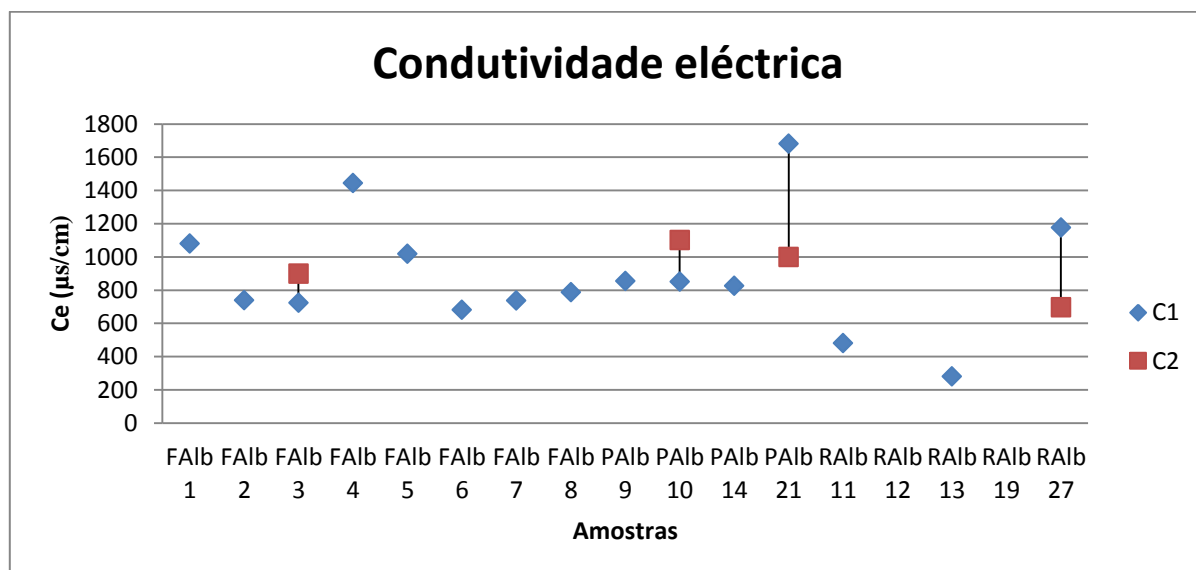


Figura 12 - Variação dos valores de condutividade eléctrica (Ce) para as águas estudadas de poços, furos e ribeiras em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

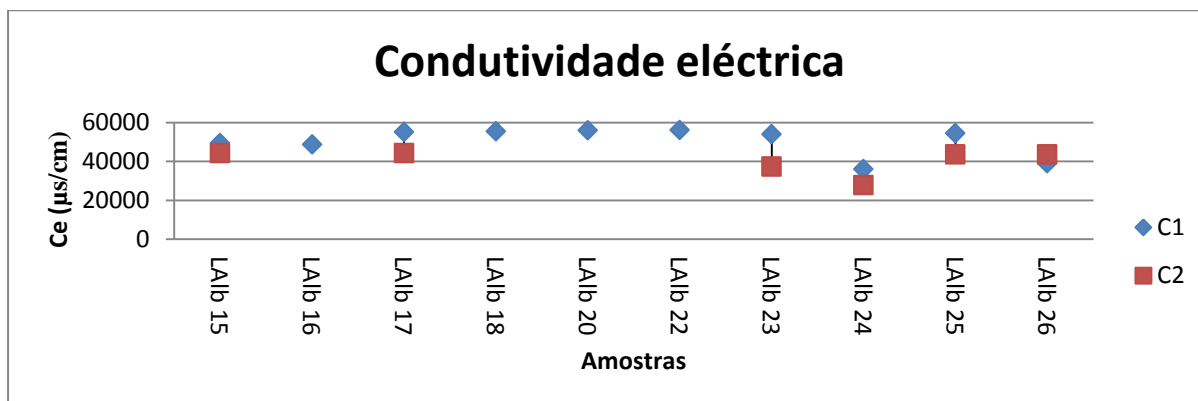


Figura 13 - Variação dos valores de condutividade eléctrica (Ce) para as águas estudadas da lagoa em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Os valores da condutividade eléctrica das amostras dos poços, furos e ribeiras em situação de barra aberta (C1) variam entre 279,5 $\mu\text{S/cm}$ (RALb13) e 1680 $\mu\text{S/cm}$ (PALb21). Os poços e furos tomam valores entre 680 $\mu\text{S/cm}$ em Falb6 e 1860 $\mu\text{S/cm}$ em PALb21, enquanto nas ribeiras o valor mínimo é em Ralb13 (280 $\mu\text{S/cm}$) e o máximo em Ralb27 (1177 $\mu\text{S/cm}$), tratando-se de um valor extremamente alto para uma ribeira. O valor elevado da água recolhida na ribeira Ralb27 é atribuído à pouca precipitação que faz com que a água se torne mais mineralizada, aquando da interacção água-rocha, reflectindo com altos valores de condutividade a dissolução das rochas.

Comparativamente aos furos e poços, as amostras correspondentes às ribeiras têm condutividades eléctricas inferiores.

Em situação de barra fechada (C2) os valores da condutividade eléctrica variam de 697 $\mu\text{S/cm}$ (RALb27) e 1101 $\mu\text{S/cm}$ (PALb10). Os poços e furos tomam valores entre 898 $\mu\text{S/cm}$ no furo Falb3 e 1011 $\mu\text{S/cm}$ no poço PALb10. A amostra da ribeira Ralb27 apresenta 695 $\mu\text{S/cm}$ de condutividade eléctrica, menor quantidade que em período de barra aberta, mas mesmo assim bastante elevada para uma ribeira.

Aquando da barra fechada (C2) a condutividade eléctrica das amostras FAlb3 e PALb10 aumentou enquanto em PALb21 e na amostra da ribeira RAlb27 diminuiu. Em ambas as campanhas, as águas recolhidas nas ribeiras apresentam condutividades inferiores.

Os valores da condutividade eléctrica das amostras recolhidas na lagoa em situação de barra aberta (C1) variam entre 36000 $\mu\text{S/cm}$ (LAlb24) e 56100 $\mu\text{S/cm}$ (LAlb22) enquanto em barra fechada a variação é entre 27860 $\mu\text{S/cm}$ (LAlb24) e 44260 $\mu\text{S/cm}$ (LAlb17). Em situação de barra fechada (C2) todos os valores de condutividade são inferiores, à excepção da amostra LAlb26, na qual se verificou um aumento, ao contrário do esperado. Comparativamente às águas recolhidas nos poços, furos e ribeiras, as águas da lagoa possuem condutividades largamente superiores. O aumento de condutividade eléctrica de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) na amostra da lagoa pequena LAlb26 sugere um aumento de mineralização, que pode ser explicado pela retenção naquele local, de águas salinas que, ao sofrerem evaporação fazem com que a concentração de sais aumente.

A condutividade eléctrica da água da lagoa é sempre muito elevada (> 20000 $\mu\text{S/cm}$) em resultado da nítida mistura com a água do mar. Como seria de esperar, a mineralização é superior em período de barra aberta, sendo os valores obtidos típicos de uma água do mar

(> 50000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). O local onde se registou menor condutividade eléctrica na lagoa foi no ponto de amostragem Lalb24, onde a contribuição de água doce deverá ser mais elevada. Observou-se no local escorrência superficial proveniente da Ribeira da Aiana, com entrada de água na lagoa junto a este ponto de amostragem.

CO₂ livre na água

Algumas das amostras recolhidas na campanha 1 (barra aberta) apresentam valores de CO₂ livre abaixo do limite de detecção do método (Lalb17, Lalb20 e Lalb22). Os valores do CO₂ livre analisados nas águas da lagoa têm máximo de 3,3 mg/l na amostra PALb9. Nos poços e furos, a quantidade de CO₂ livre varia entre 3,3 mg/l no poço Palb9 e 0,6 mg/l no poço Palb14 e no furo Falb5. Nas ribeiras o valor mínimo é 0,2 mg/l em Ralb27 e o máximo 0,8 mg/l em Ralb13. Em relação á lagoa a quantidade de CO₂ livre varia entre 0,2 mg/l (Lalb15 e Lab25) e 0,4 mg/l em Lalb24 e Lalb26 (Figura 14).

Em condições de barra fechada (C2), nos poços e furos, os valores de CO₂ livre variam entre 6 mg/l no furo Falb3 e 34 mg/l no poço Palb21. Nos poços Palb10 e Palb21 verificam-se valores claramente superiores em comparação com as restantes amostras. A amostra da ribeira Ralb27 tem 3,4 mg/l. Os valores nas águas recolhidas na lagoa têm máximo em Lalb24 (0,8 mg/l). As amostras Lalb15, Lalb23, Lalb25 e Lalb26 encontram-se abaixo do limite de detecção do método utilizado (Figura 14).

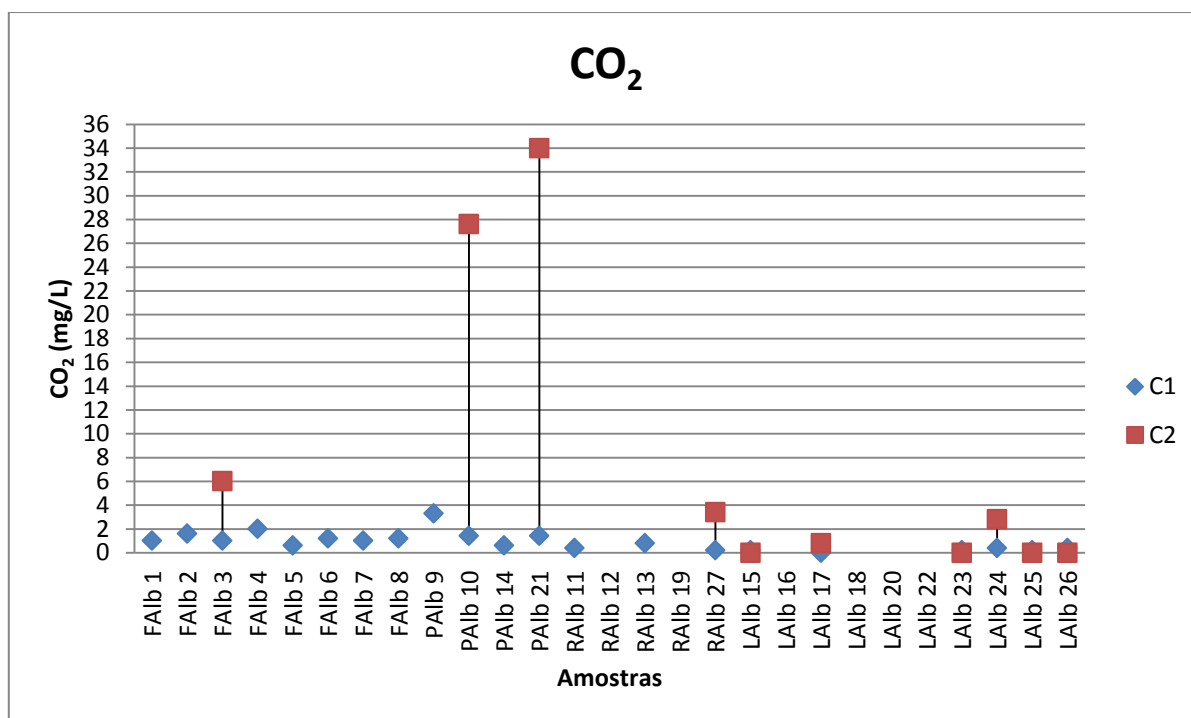


Figura 14 - Variação dos valores de CO₂ livre para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Como as águas da lagoa apresentam pH quase sempre superiores a 8, o CO₂ livre está presente em quantidades muito reduzidas. De um modo geral, a quantidade de CO₂ aumentou de condições de barra aberta (C1) para condições de barra fechada (C2), à excepção das amostras da lagoa Lalb23, 25 e 26, nas quais houve uma ligeira diminuição.

Alcalinidade

Os valores da alcalinidade (Figura 15), em condições de barra aberta (C1) variam entre 25 mg/l, em RAlb13, e 492 mg/l em FAlb1. Os valores da alcalinidade nos furos e poços variam entre 57 mg/l, no poço Palb21, e 492 mg/l no furo Falb1. As ribeiras têm valor mínimo em Ralb13 (25 mg/l) e máximo em Ralb11 (147 mg/l). As águas da lagoa tomam valores entre 123 mg/l em Lalb22 e 142 mg/l em Lalb26.

Em situação de barra fechada (C2) os valores da alcalinidade variam entre 55 mg/l em Palb21 e 174 mg/l em Palb10. Os poços e furos têm valor mínimo em Palb21 (55 mg/l) e máximo na amostra Palb10 (174 mg/l). A alcalinidade da ribeira Ralb27 é 77 mg/l, enquanto na lagoa existe uma variação entre 104 mg/l em Lalb23 e 135 mg/l em Lalb24.

O furo Falb3, o poço Palb21 e as amostras da lagoa Lalb15, Lalb17, Lalb23, Lalb25 e Lalb26 possuem valores superiores de Alcalinidade em condições de barra aberta. Assim sendo, dos poços, furos e lagoa apenas as amostras do poço Palb10 e Lalb24 têm valores de alcalinidade superiores em condições de barra fechada, tal como se passa na ribeira Ralb27.

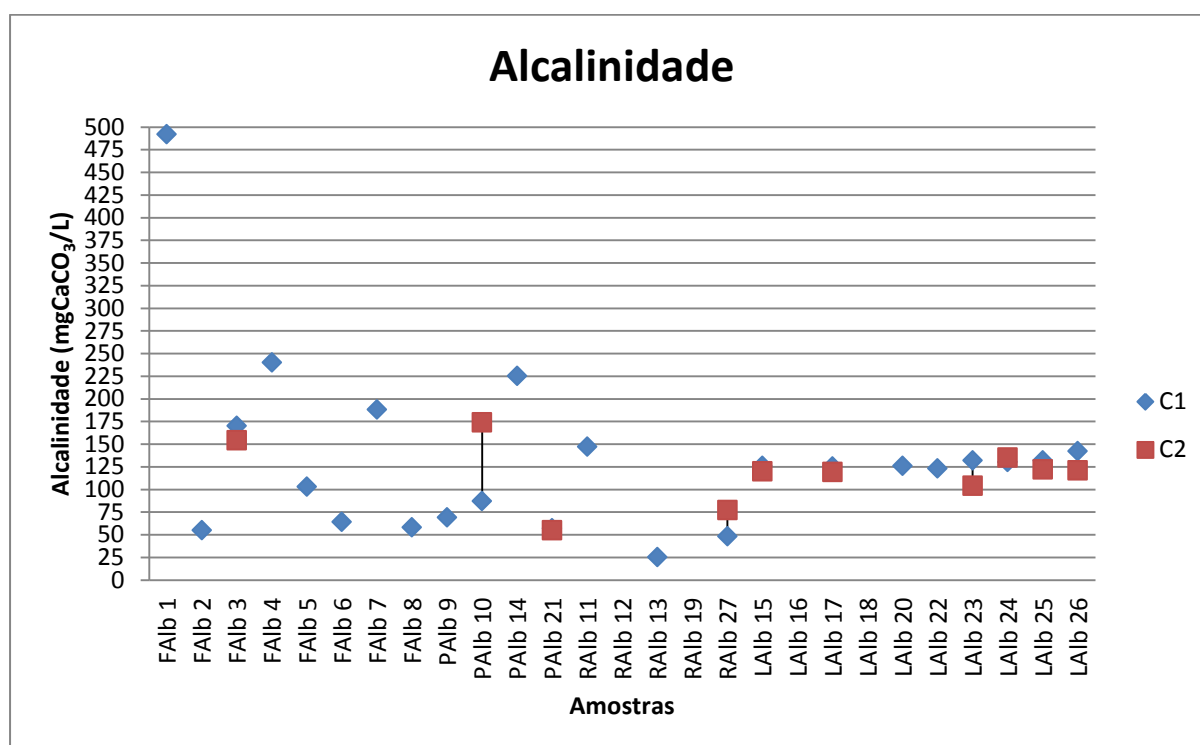


Figura 15 - Variação dos valores de alcalinidade para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Os valores da alcalinidade das águas da lagoa são sempre muito semelhantes em todos os locais e a variação perante a dualidade barra aberta/barra fechada não é significativa. As maiores variações de alcalinidade são observadas nas águas subterrâneas. Tal como seria de esperar por serem águas de escorrência superficial, as águas das ribeiras apresentam os menores valores de alcalinidade.

Cálcio

As concentrações de cálcio (Figura 16) nas águas amostradas em condições de barra aberta (C1) variam entre 18,83 mg/l em RAlb13 e 561,12 mg/l em LAlb15: Nos poços e furos a concentração do ião cálcio varia de 20 mg/l no furo Falb2 a 99,4 mg/l em Falb4. Nas ribeiras o valor mínimo encontra-se em Ralb13 (16,83mg/l) e o máximo em Ralb11 (48,9mg/l). Nas amostras recolhidas na lagoa verificam-se valores de concentração de cálcio entre 280,6 mg/l (Lalb24 e Lab26) e 2485 mg/l em Lab17, sendo este último bastante mais elevado que os restantes.

Em condições de barra fechada (C2) a concentração do ião cálcio varia entre 28 mg/l em Ralb27 e 344 mg/l em LAlb15. Nos poços e furos os valores das concentrações deste catião variam entre 28,8 (Palb21) e 88,8 em Palb10. A ribeira Ralb27 tem 28 mg/l, sendo a amostra com menor concentração, ao passo que as amostras da lagoa têm como concentração mínima 216 mg/l (Lalb24) e máxima 344 mg/l em Lab15.

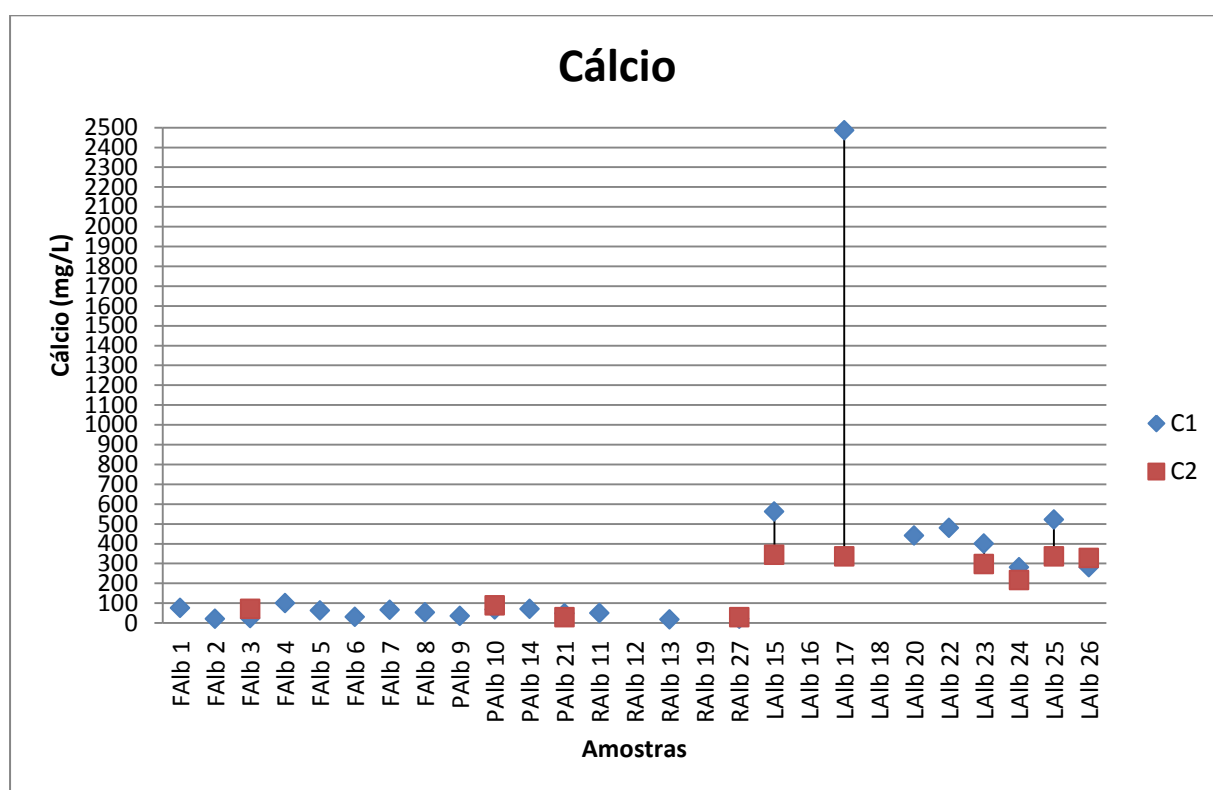


Figura 16 - Variação da concentração de cálcio para as águas estudadas em barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

De um modo geral a concentração do ião cálcio das amostras recolhidas diminui de barra aberta (C1) para barra fechada (C2), à excepção das amostras FAIb3 e PAIb10 e LAIb26. O aumento da concentração de cálcio em Falb3 e Palb10 sugere que nestes pontos, em barra fechada, a água da lagoa tem uma maior influencia na água subterrânea.

As amostras recolhidas da Lagoa em ambas as campanhas apresentam concentrações de cálcio muito superiores às das águas superficiais e subterrâneas, tal como seria de esperar.

Dureza total

Nas Figuras 17 e 18 estão representados valores para a dureza total das águas nas duas campanhas, e a sua variação:

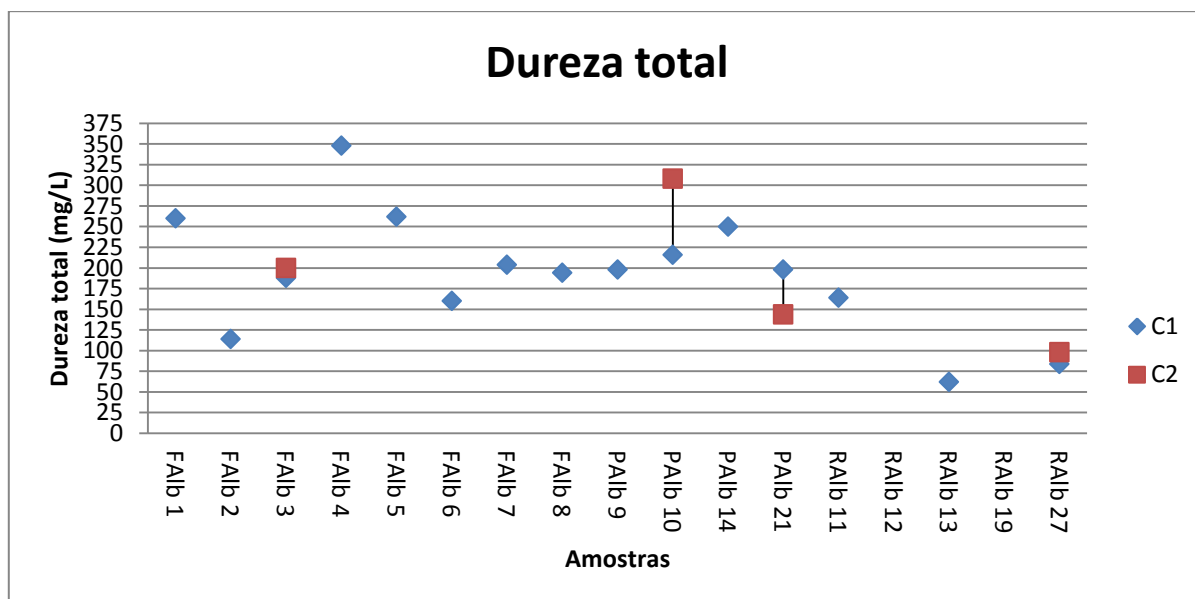


Figura 17 - Variação dos valores de dureza total para as águas estudadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

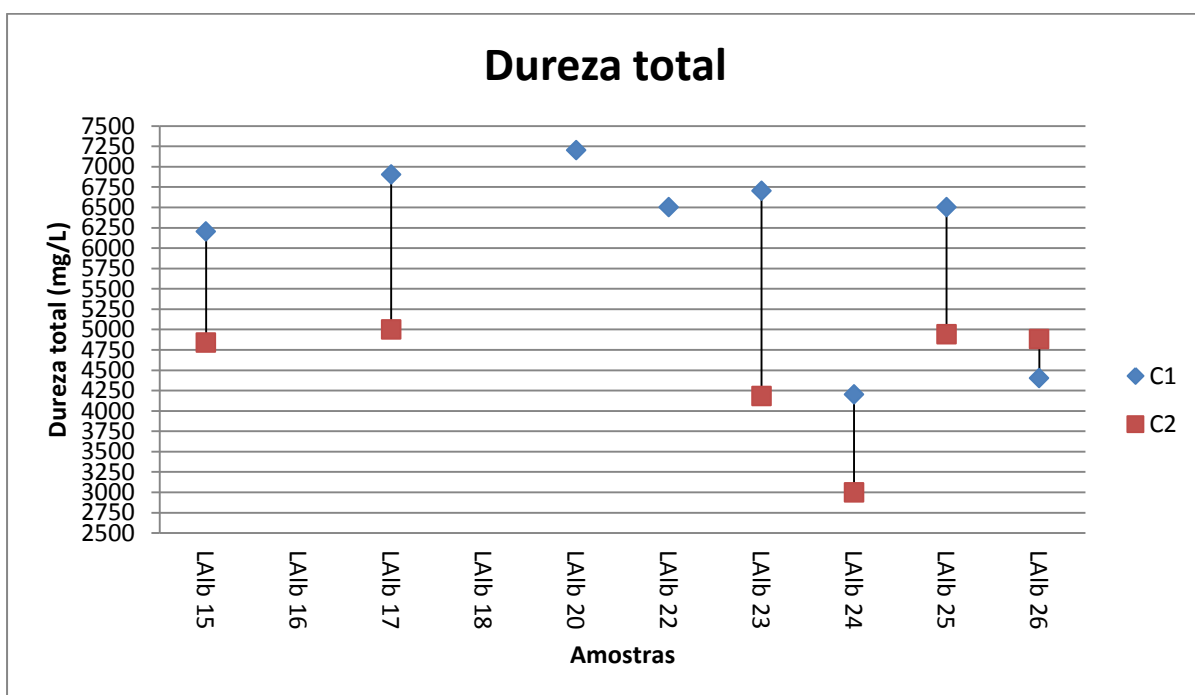


Figura 18 - Variação dos valores de dureza total para as águas estudadas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Os valores de dureza total (mg/l) das águas recolhidas em condições de barra aberta (C1) variam entre 62,01 mg/l em RAlb13 e 7201,15 mg/l em LAlb 20. Nos poços e furos a DT varia entre 114 mg/l no furo FAlb2 e 348,1 no furo FAlb4. As ribeiras têm dureza total com mínimo em 62 mg/l em RAlb13 e máximo de 164 mg/l em RAlb11. As águas recolhidas na lagoa têm concentrações que variam de 4200,7 mg/l em LAlb24 e máximo de 7201,2 mg/l em LAlb20.

Aquando da barra fechada (C2) os valores oscilam entre 98 mg/l em RAlb27 e 5000 mg/l em LAlb17.

Nos poços e furos a dureza total varia entre 144,1mg/l em Palb21 e 308mg/l em Palb10. Na ribeira Ralb27 a concentração é de 98 mg/l enquanto nas águas recolhidas na lagoa este parâmetro oscila entre 3000 mg/l em Lalb24 e 5000 mg/l em Lalb17.

A dureza total das águas da lagoa é bastante superior às restantes, ao contrário das amostras correspondentes às ribeiras que são as que tomam sempre valores consideravelmente inferiores. De um modo geral, de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) os valores de dureza total diminuem consideravelmente, com excepção das amostras FAlb3, PAlb10 e RAlb27, nas quais se observa ligeiro aumento. Este aumento reflecte os processos água-rocha, onde há dissolução das rochas carbonatadas, sugerindo maior influência da água subterrânea. Na amostra da lagoa Lalb26 observa-se igualmente um aumento de dureza cálcica de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) possivelmente por se tratar de água da lagoa com mistura do mar, cativa, que, ao sofrer evaporação sofre um aumento da concentração de sais, ou até devido a contaminação através de uma água salina.

Potássio

A concentração de potássio varia entre 0,99 mg/l em RAlb27 e 500,5 mg/l em LAlb22 em condições de barra aberta (Figuras 19 20). Nos poços e furos o valor da concentração do ião potássio tem mínimo em 2,7 mg/l no furo Falb7 e 12,05 em Falb4 e nas ribeiras os valores oscilam entre 0,99 mg/l em Ralb27 e 3,6 mg/l em Ralb11. Nas águas recolhidas na lagoa as concentrações do ião potássio têm mínimo em Lab26 (240 mg/l) e máximo em Lalb22 (500,5 mg/l).

Em condições de barra fechada (C2) a concentração de potássio dissolvido varia entre 1,64 mg/l em FAlb3 e 352,5 mg/l em LAlb26. Nos poços e furos o ião Potássio toma valores que oscilam entre 1,64 mg/l em Falb3 e 9,5 mg/l em Palb10. Na ribeira Ralb27 a concentração é de 1,95 mg/l enquanto nas amostras recolhidas na lagoa assume valores entre 161 mg/l em lalb24 e 352,5 em Palb26.

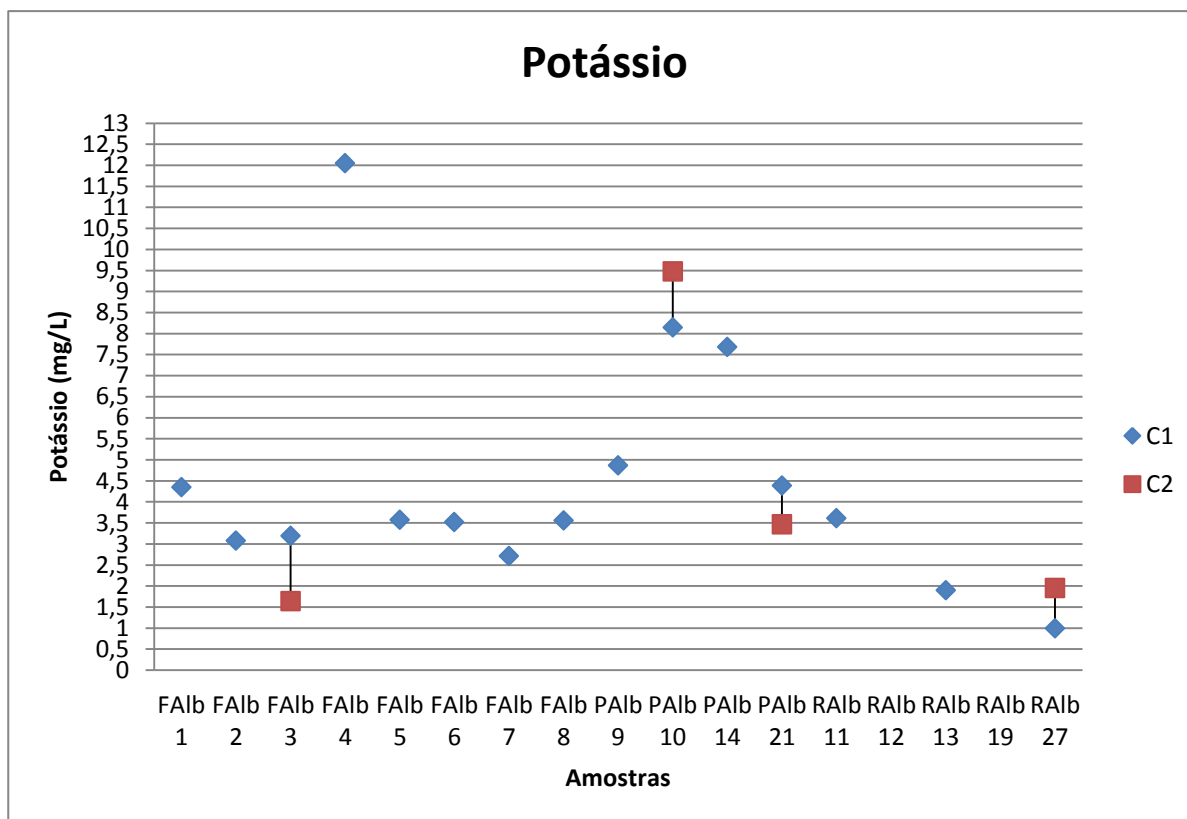


Figura 19 - Variação da concentração de potássio nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

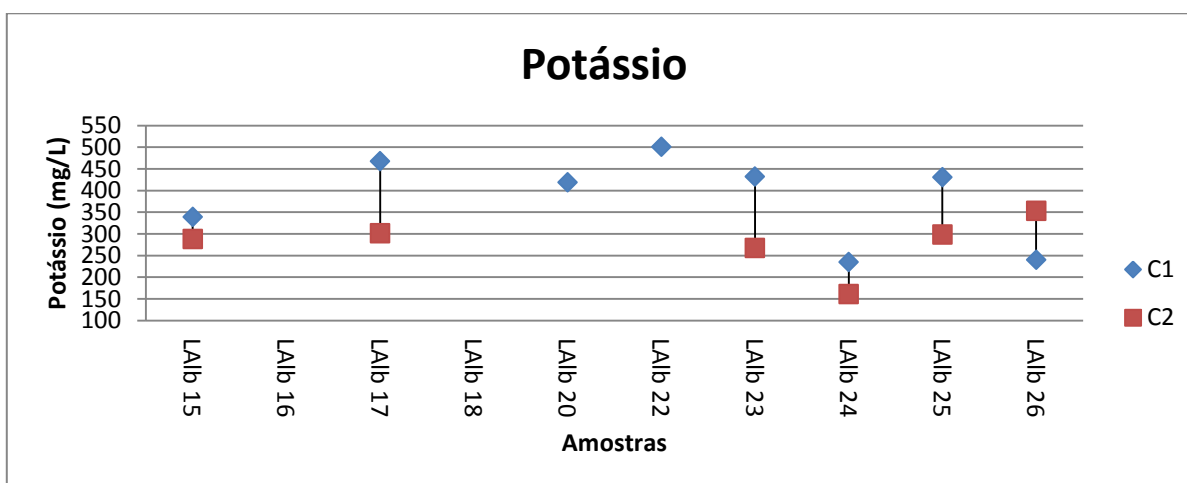


Figura 20 - Variação da concentração de potássio nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

A concentração de potássio dissolvido nas águas é claramente superior nas amostras recolhidas na Lagoa em ambas as campanhas. As concentrações de potássio na lagoa diminuem em período de barra fechada como seria de esperar, por falta de contribuição do Potássio da água do mar. Todavia, no ponto de amostragem LAlb26 existe um enriquecimento de potássio neste período reforçando a ideia de contaminação através de uma água salina ou da existência no local, de águas cativas, que, através dos processos de evaporação verificam um aumento de mineralização.

De um modo geral, de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) a concentração diminui nos poços, furos e ribeiras, à excepção das amostras PALb10, e RAlb27, nas quais aumenta.

As águas das ribeiras são as que possuem menor concentração do ião potássio em ambas as campanhas.

O furo Falb4 e o poço Palb10 são os que apresentam maiores concentrações de potássio.

Sódio

A concentração de sódio nas águas amostradas varia entre 13 mg/l em RAlb27 e 13395,32 mg/l em LAlb22 em condições de barra aberta (Figuras 21 e 22). Nos poços e furos a concentração varia entre 39,6 mg/l no furo Falb7 e 107,4 mg/l em Falb4 enquanto nas ribeiras adquire valores que oscilam entre 13 mg/l em RAlb27 e 30,4 mg/l em RAlb11. As amostras correspondentes à lagoa têm valor de concentração de sódio mínima em Lalb24 (6581,3 mg/l) e máxima em Lalb17 (13847,1 mg/l).

Aquando da barra fechada (C2), a concentração do ião sódio varia entre 20,8 mg/l em RAlb27 e 11710 mg/l em LAlb17 (Figuras 21 e 22). Nos poços e furos a concentração varia entre 39,2 mg/l no poço Palb10 e 55,4 mg/l no poço Palb21 enquanto nas águas da lagoa assume valores entre 5780 mg/l em Lalb24 e 11710 em Lalb17. A amostra correspondente à ribeira RAlb27 tem uma concentração de Sódio de 20,8 mg/l.

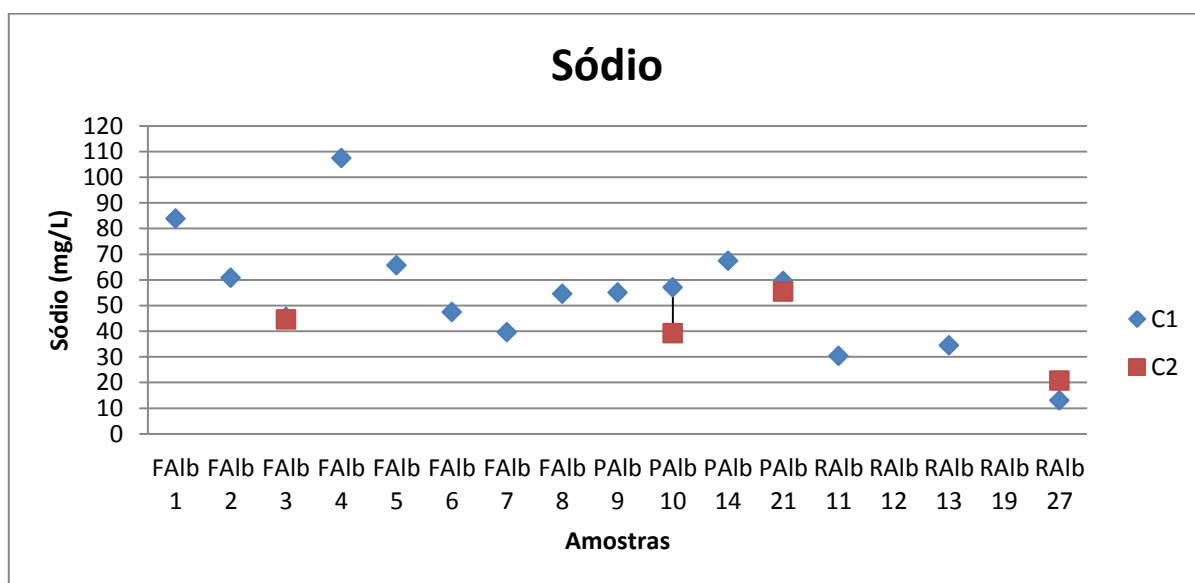


Figura 21 - Variação da concentração de sódio nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

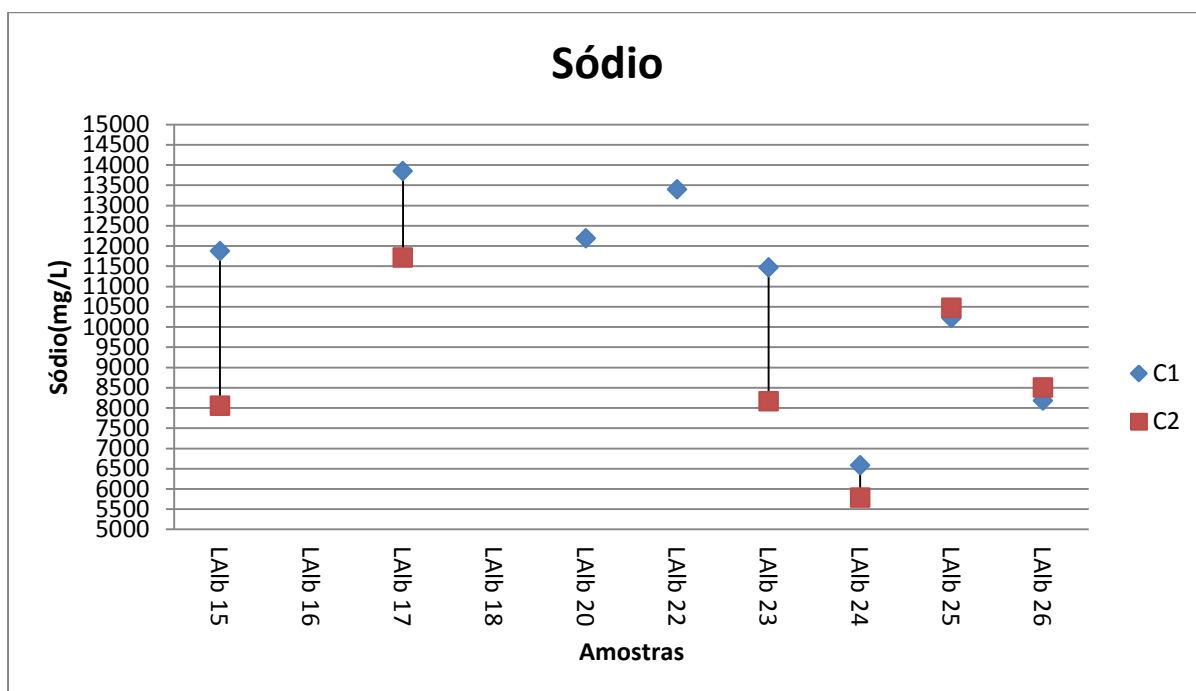


Figura 22 - Variação da concentração de Sódio nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Em ambas as campanhas a concentração do ião sódio é maior nas águas recolhidas na lagoa e menor das amostras correspondentes às ribeiras. De um modo geral, estes valores diminuem de condições de barra aberta (C1) para barra fechada (C2), à excepção das amostras RAlb27, LAlb25 e LAlb26 onde foram verificados aumentos.

O ponto de amostragem na ribeira da Apostiça (RAlb27) indica que esta tem uma maior concentração de sódio em período de barra fechada, o que se traduz num aumento deste ião na água LAlb25, pois trata-se de uma água amostrada junto de uma entrada de água proveniente da referida ribeira. A amostra da Lagoa LAlb26 uma vez mais surge com uma maior mineralização.

Magnésio

Os valores da concentração de magnésio variam entre 4,85 mg/l em RAlb13 e 1481,35 mg/l em LAlb20 aquando da barra aberta (C1), (Figuras 23 e 24). Nos poços e furos, a concentração do ião magnésio varia entre 9,7 mg/l em Falb7 e 31,1 mg/l no furo Falb3 enquanto nas ribeiras assume valores entre 4,85 mg/l em RAlb13 e 10,2 mg/l em RAlb11. Nas águas recolhidas na lagoa o valor da concentração do ião magnésio tem mínimo em 168,9 mg/l em LAlb17 e 1481,4 mg/l em LAlb20.

Aquando da barra fechada (C2), a variação dos valores da concentração do ião magnésio ocorre entre 5,87 mg/l em Falb3 e 1010,43 mg/l em LAlb17. Nos poços e furos, a concentração do magnésio tem mínimo em Falb3 (5,87 mg/l) e máximo em Falb10 (20,9 mg/l). Na ribeira RAlb27 a concentração é 6,82 mg/l, enquanto nas águas da lagoa a variação da concentração dá-se entre 597,5 mg/l em LAlb24 e 1010,4 mg/l em LAlb17.

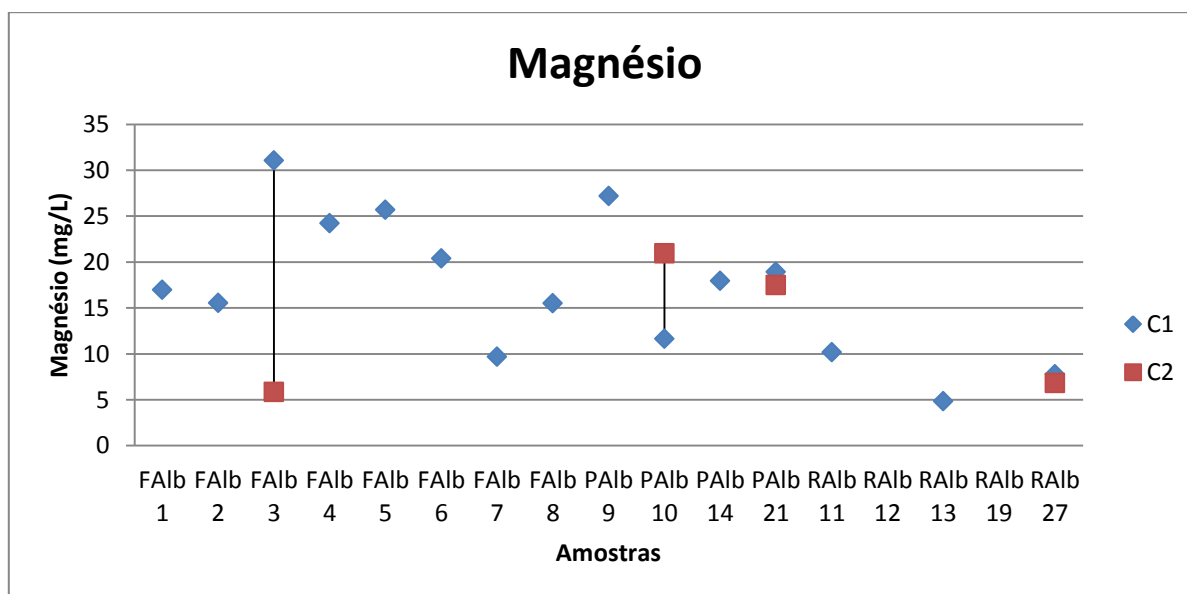


Figura 23 - Variação da concentração de magnésio nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

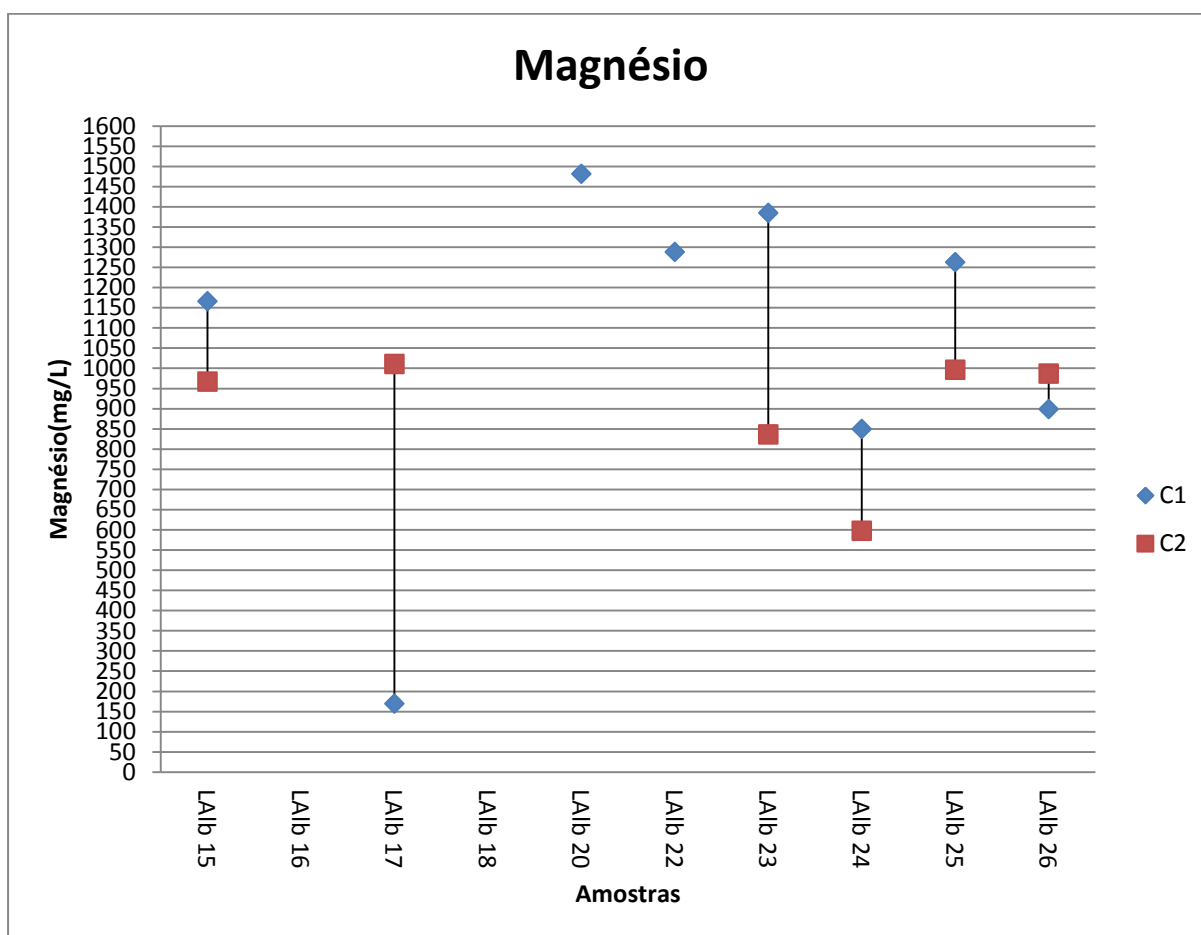


Figura 24 - Variação da concentração de magnésio nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Os valores da concentração de magnésio são substancialmente superiores nas águas da Lagoa enquanto nas ribeiras são claramente inferiores em relação às restantes amostras, como seria de esperar. Os valores de Magnésio (mg/l) diminuíram de condições de barra

aberta (C1) para barra fechada (C2), à excepção das amostras PALb10, LAlb17 e LAlb26, onde se verificou um aumento da concentração do ião.

Seria de esperar que em barra aberta, com mais água do mar, as concentrações de Magnésio aumentassem nas águas da lagoa. Na amostra Lalb26 verifica-se o contrário que vem reforçar a hipótese atrás citada.

Na amostra Lalb17, em barra aberta (C1), verificou-se a existência de águas doces epidérmicas junto ao local de amostragem, tratando-se de uma água de mistura de água doce e água do mar. O aumento da concentração de magnésio pode dever-se a uma recolha da amostra de água num ponto mais interior na lagoa, com maior contributo da água do mar.

Fluoreto

Os valores da concentração de fluoreto nas águas analisadas em condições de barra aberta (C1) variam entre valores abaixo do limite de detecção do método (em amostras correspondentes aos poços, furos, ribeiras e lagoa) até 4,7 mg/l em LAlb22 (Tabela 25). Nos poços e furos a concentração máxima do ião é de 0,497 mg/l em Falb1, nas ribeiras é de 0,2 mg/l em RAlb27 e na lagoa é de 4,7 mg/l em Lalb22. As amostras dos furos Falb 4, 5 e 7, dos poços Palb9, Palb10, das ribeiras Lalb25 e Lalb26, encontram-se abaixo do limite de detecção do método utilizado.

Em condições de barra fechada (C2) as amostras encontram-se abaixo do limite de detecção do método utilizado, à excepção de Lalb17 e Lalb23, com valores de concentração do fluoreto de 0,3 mg/l e 0,26 mg/, respectivamente (Tabela 25).

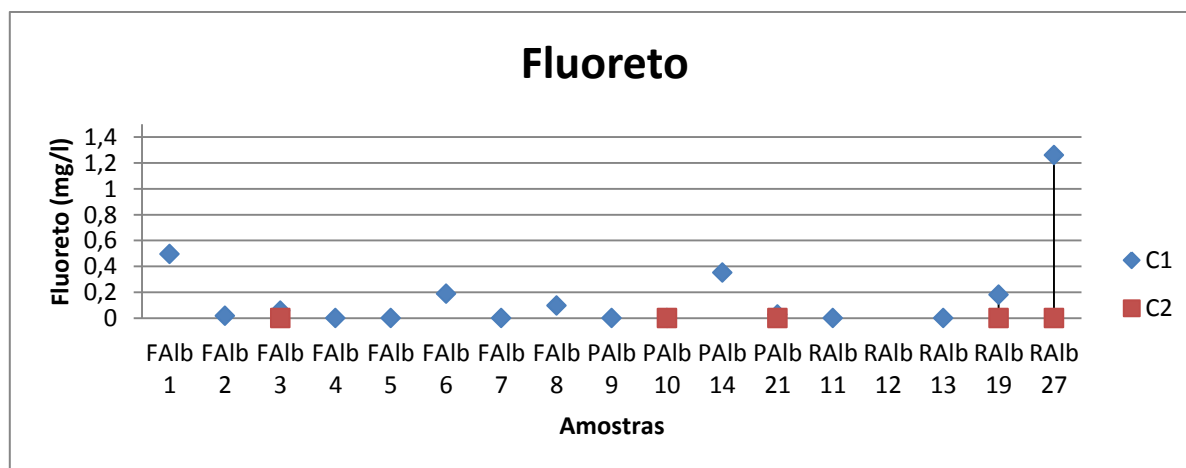


Figura 25 - Variação da concentração de fluoreto nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Em todas as situações em que foi possível a comparação entre campanhas verifica-se que de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) os valores da concentração de fluoreto na água diminuíram e constata-se valores claramente maiores nas águas recolhidas na lagoa.

Cloreto

Os valores da concentração de cloretos verificados nas amostras de água aquando da barra aberta (C1) variam entre 52,503 mg/l em RAlb27 e 21567 mg/l em LAlb17 (Figuras 26 e 27). Nos poços e furos a concentração do Cloreto assume valores entre 74 mg/l no poço Palb14 e 226,2 mg/l no furo Falb4. Nas ribeiras a concentração oscila entre 52,5 mg/l em Ralb27 e 60,9 mg/l em Ralb13 enquanto nas águas recolhidas na lagoa tem valor mínimo em Lalb24 (13109,7 mg/l) e máximo em Lalb17 (21567,3 mg/l).

Em condições de barra fechada (C2) o valor mínimo da concentração de cloretos é verificado na amostra RAlb27 (34,87 mg/l) e o máximo em LAlb15 (16092,58 mg/l). Nos poços e furos a concentração é mínima no poço Palb10 (50,2 mg/l) e máxima em Falb3 (104 mg/l). Na ribeira Ralb27 a concentração é 34,9 mg/l enquanto nas amostras da lagoa oscila entre 8678,6 mg/l em Lalb24 e 16092,6 mg/l em Lalb15.

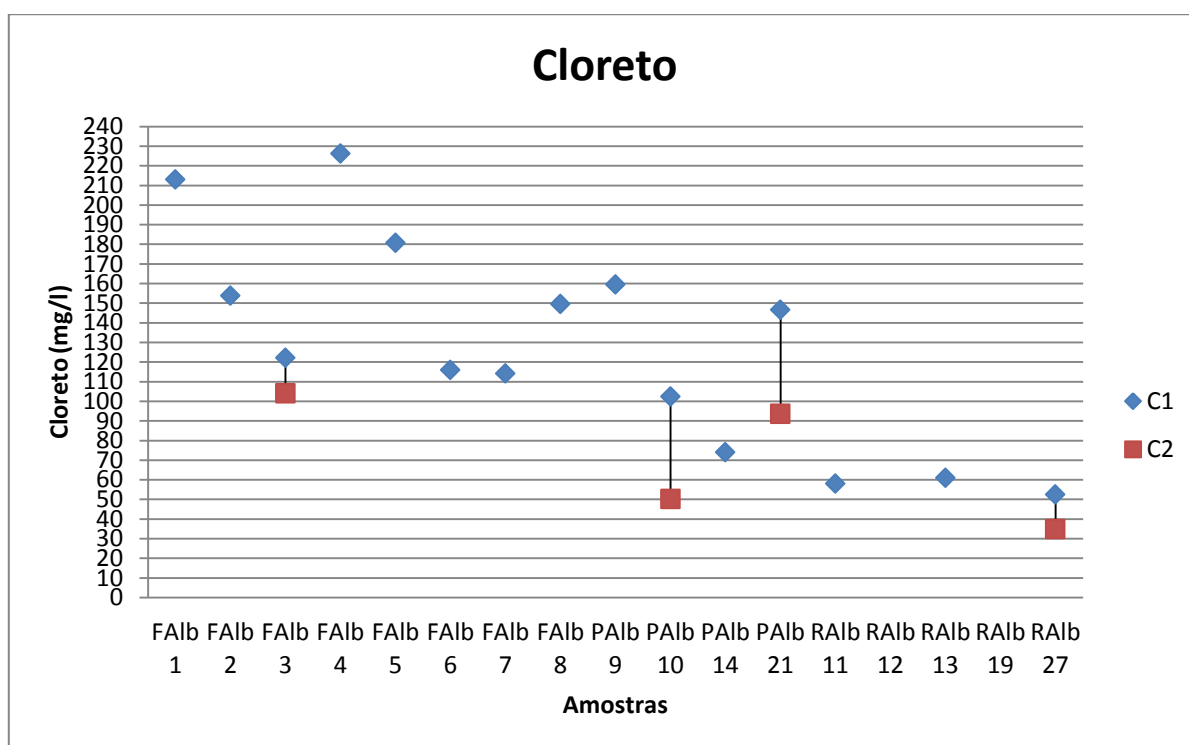


Figura 26 - Variação da concentração de cloreto nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

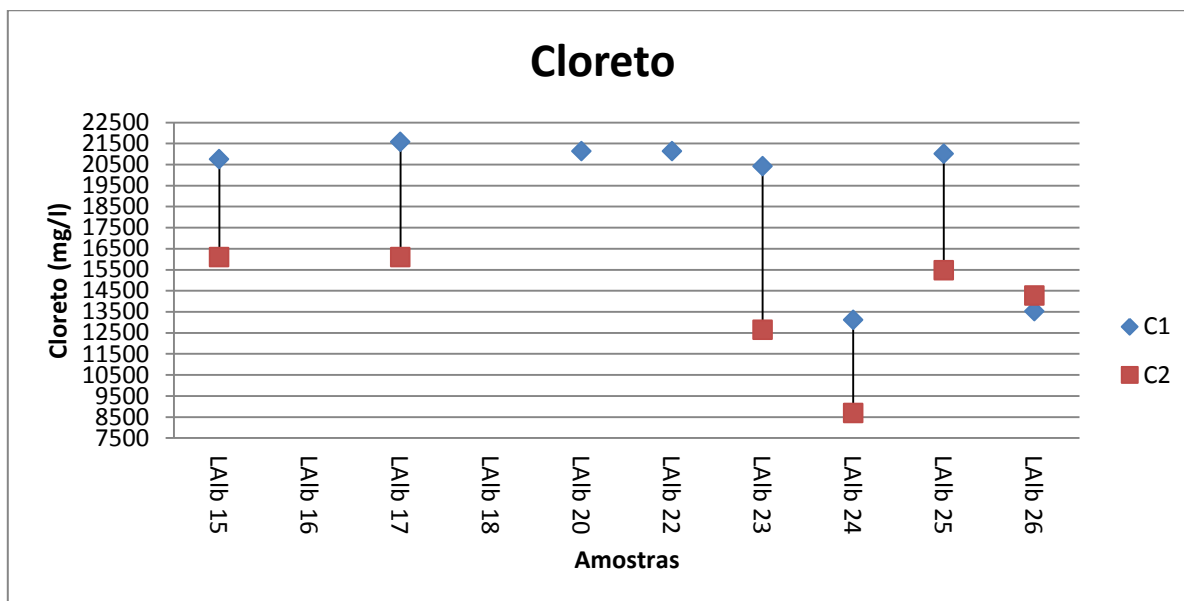


Figura 27 - Variação da concentração de cloreto nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Nas Figuras 28 e 29 é evidenciada a variação espacial da concentração de cloreto nas duas campanhas de amostragem:

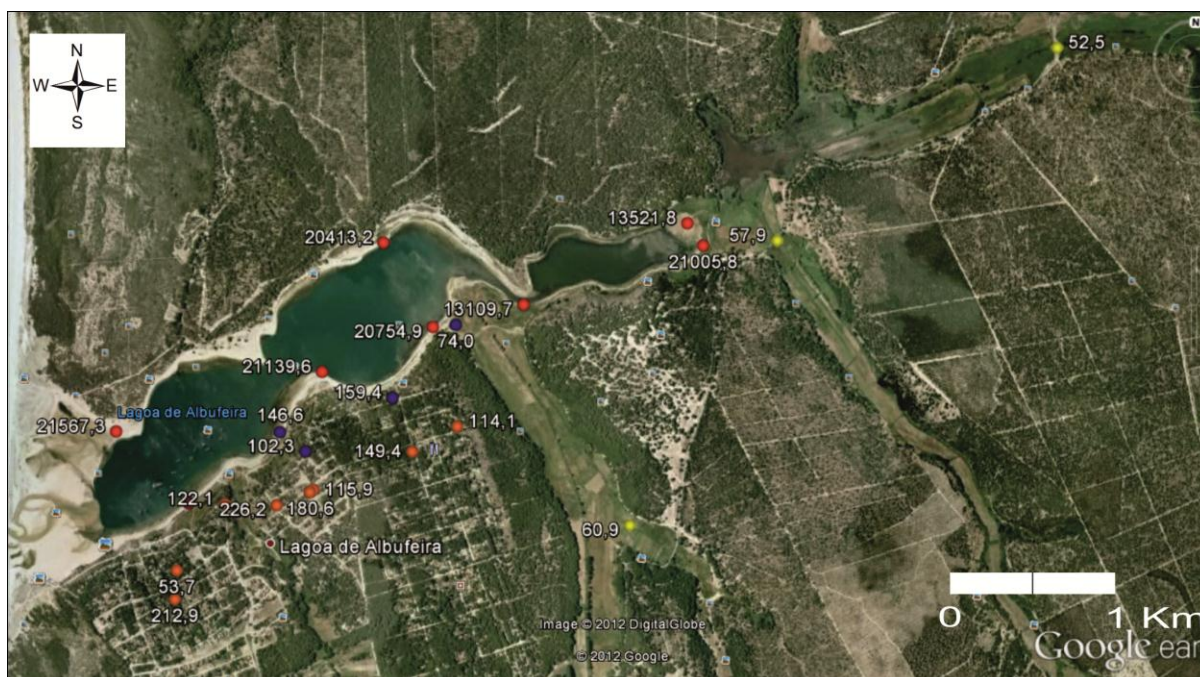


Figura 28 - Variação espacial do cloreto em condições de barra aberta (C1). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.

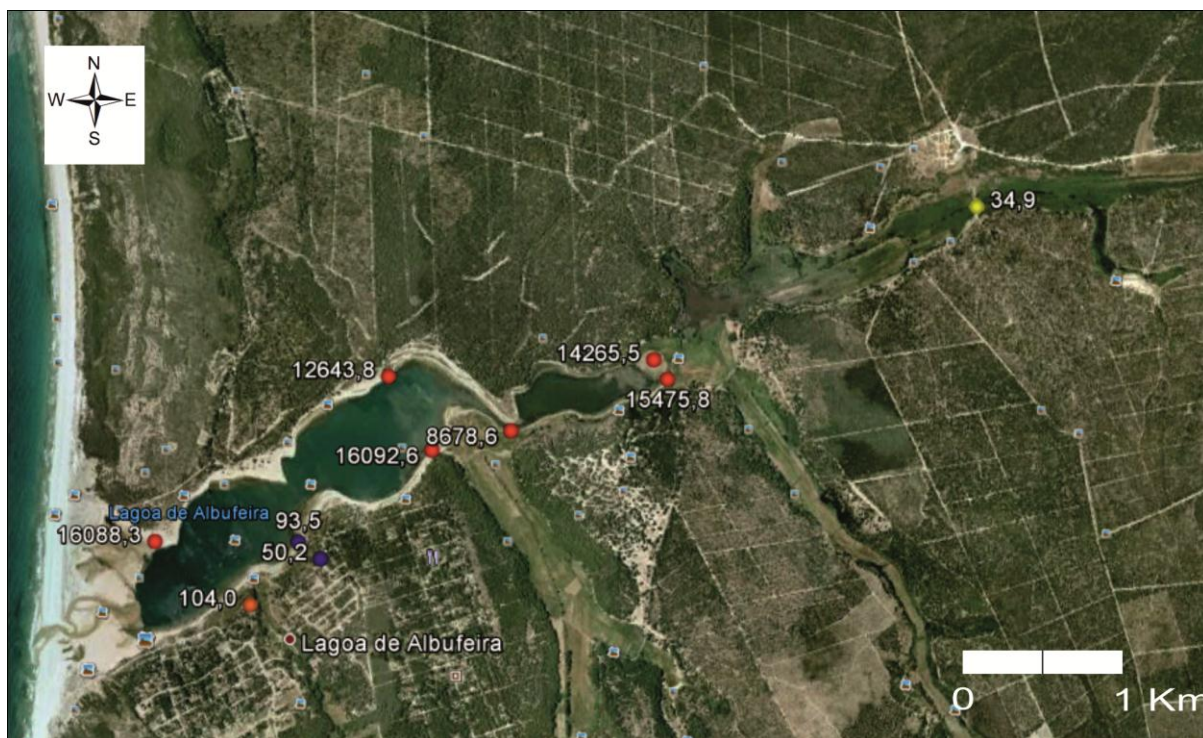


Figura 29 - Variação espacial do cloreto em condições de barra fechada (C2). Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.

Os valores de cloretos determinados nas amostras recolhidas na lagoa são superiores em várias ordens de grandeza. Por sua vez as amostras das ribeiras são as águas que possuem menores concentrações de cloretos. De condições de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) verifica-se que houve uma diminuição das concentrações de cloretos, à excepção da estação de amostragem LAlb26, na qual se constata um aumento. Este aumento de Cloretos vem reforçar a hipótese de água recolhida no ponto LAlb26 se tratar de uma água do mar cativa cuja evaporação se traduz num aumento de mineralização ou contaminação por uma água salina, ou de apresentar contaminação antrópica que não foi registada na estação a montante.

Nitrito

As concentrações de nitrito estiveram abaixo do limite de detecção do método para todas as amostras da lagoa.

Brometo

As concentrações de brometo, analisados nas águas em condições de barra aberta (C1), variam entre valores mínimos não passíveis de detecção através do método utilizado (em poços, furos e ribeiras) e 71,02 mg/l em LAlb20 (Figuras 30 e 31). Nos poços e furos, a concentração máxima de brometo corresponde a 0,6 mg/l em Falb1. Em nenhuma das águas recolhidas nas ribeiras foi possível a determinação da concentração de brometo pelo motivo acima referido. Nas amostras da lagoa, a concentração de Brometo varia entre 37,88 mg/l em LAlb24 e 71 mg/l em LAlb20.

Em condições de barra fechada (C2), a quantidade de brometo nas águas analisadas varia entre 0,039mg/l em PALb21 e 51,22mg/l em LALb15 (Figuras 30 e 31). Nesta campanha, apenas a amostra do poço Palb10 tem uma concentração de brometo abaixo do nível de detecção do método. Nos poços e furos é o furo Falb3 que tem a maior concentração (0,185 mg/l) enquanto na lagoa varia entre 25,82 em Lalb24 e 51,2 em Lalb15 e Lalb17. A ribeira Ralb27 tem 0,067 mg/l de brometo.

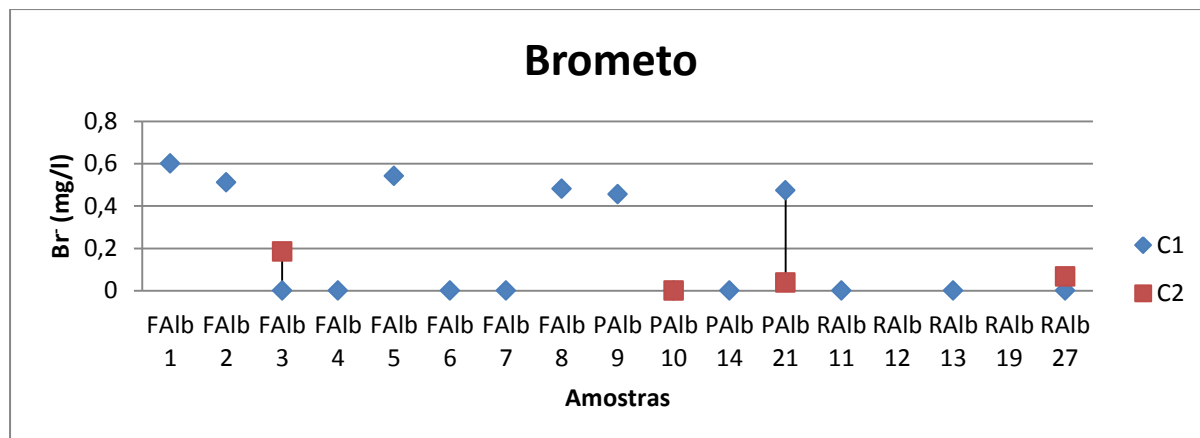


Figura 30 - Variação da concentração de brometo nas águas amostradas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

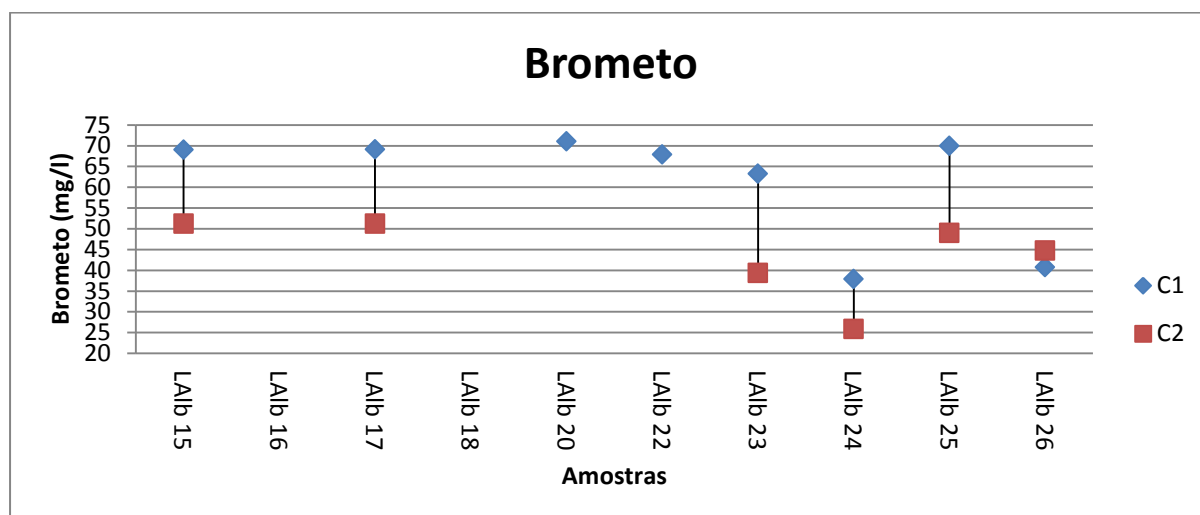


Figura 31 - Variação da concentração de brometo nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Os valores do brometo nas amostras de água da Lagoa são maiores em várias ordens de grandeza comparativamente com as águas recolhidas nos restantes subsistemas. Como seria de esperar, as concentrações de brometo diminuem na água da lagoa em período de barra fechada (C2). Todavia, mais uma vez a amostra Lalb26 distingue-se das restantes com aumento da concentração com barra fechada.

Nitrato

As concentrações de nitrato obtidas estão representadas na Figura 32:

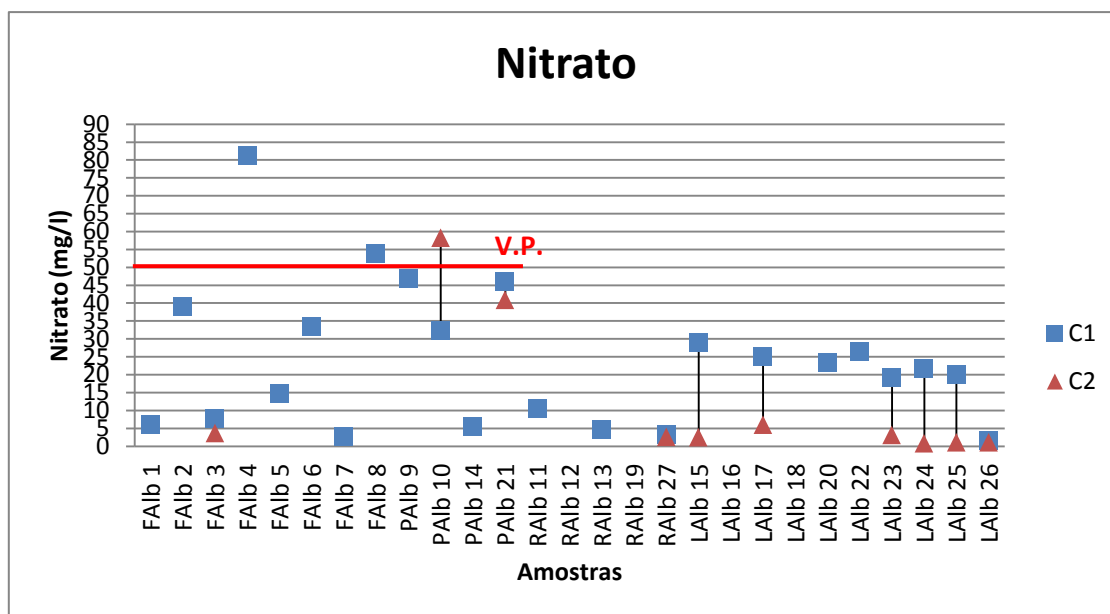


Figura 32 - Variação da concentração de nitrato nas águas amostradas em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2). V.P. represente o limite acima do qual as águas são impróprias para consumo humano segundo o decreto de lei nº 206/2007.

Nas Figuras 33 e 34 é evidenciada a variação espacial das concentrações de nitrato nas duas campanhas:

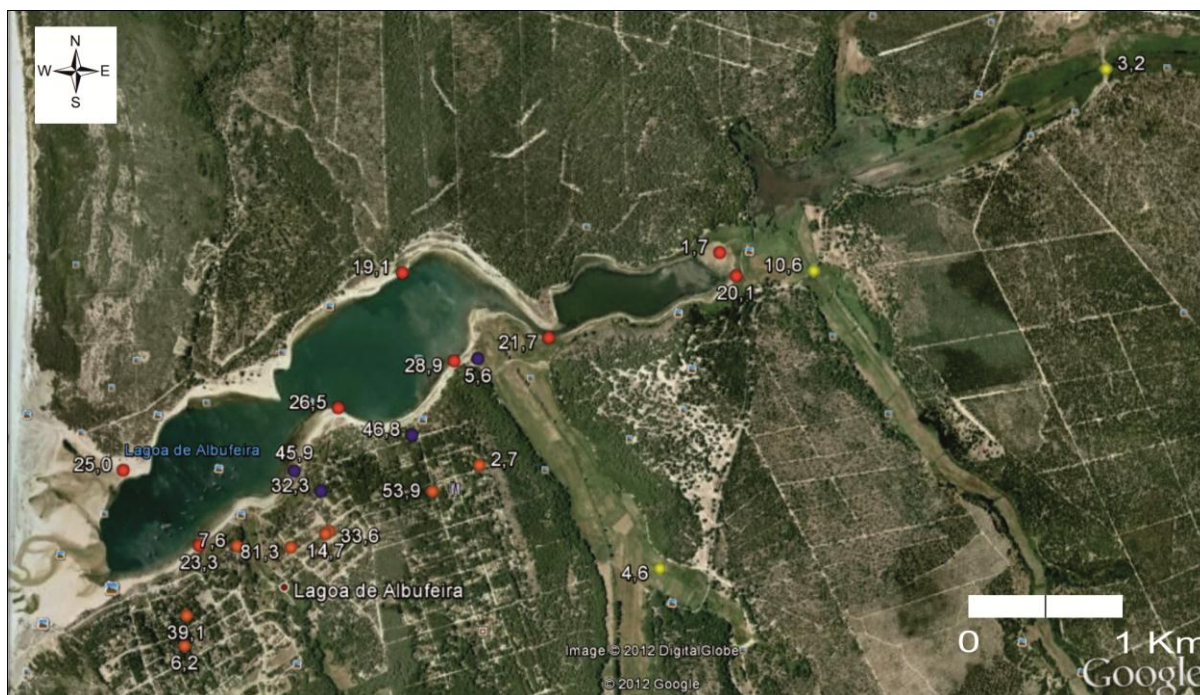


Figura 33 - Variação espacial dos nitratos em condições de barra aberta (C1). A cor azul representa amostras recolhidas em poços, a vermelha corresponde a amostras recolhidas na lagoa, a amarelo as amostras das ribeiras e a laranja os furos.

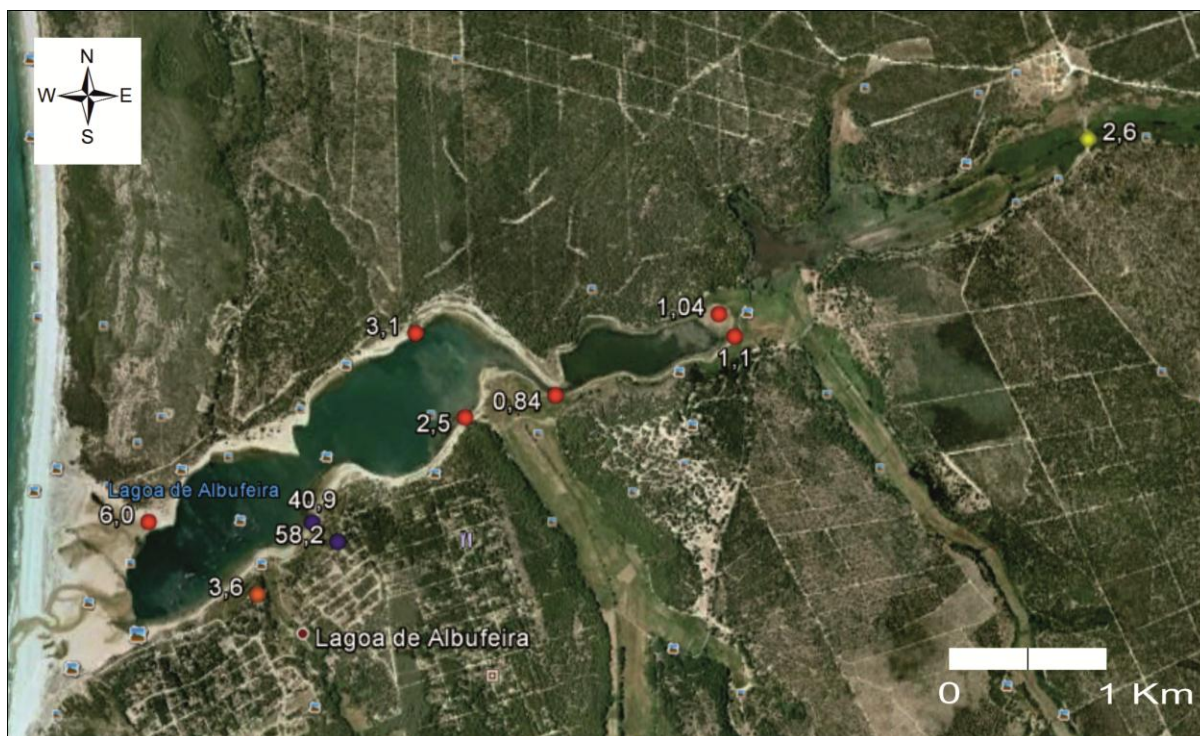


Figura 34 - Variação espacial dos nitratos em condições de barra fechada (C2). A cor azul representa amostras recolhidas em poços, a vermelha corresponde a amostras recolhidas na lagoa, a amarelo as amostras das ribeiras e a laranja os furos.

A concentração de nitratos, aquando da barra aberta (C1), varia entre 1,7 mg/l em Lalb26 e 81,3 mg/l em Falb4. Nos poços e furos a concentração é máxima no furo Falb4 (81,3 mg/l) e mínima em Falb7 (2,6 mg/l), enquanto nas ribeiras varia de 3,2 mg/l em Ralb27 e 10,6 mg/l em Ralb11. As águas recolhidas na lagoa têm concentrações que oscilam entre 1,66 mg/l em Lalb26 e 28,86 mg/l em Lalb15.

Em condições de barra fechada (C2) a concentração de nitratos varia entre 0,84 mg/l em LAlb24 e 40,893 mg/l no poço PAlb21. Nos poços e furos, a concentração de nitratos atinge o máximo em Palb10 (58,2 mg/l) e o mínimo em Falb3 (3,6 mg/l) enquanto nas águas recolhidas na lagoa a concentração de nitratos varia entre 0,84 mg/l em lalb24 e 6 mg/l em Lalb17.

Com excepção da estação PAlb10, na qual se verificou um aumento da concentração de nitratos de condições de barra aberta (C1) para barra fechada (C2), nos restantes casos houve uma diminuição dos valores. O valor elevado de Palb10 (C2 barra fechada) sugere a ocorrência de contaminação por nitratos devido à existência de fossas sépticas que estão a ser lixiviadas pelo fluxo de água subterrânea em direcção à lagoa. A este mesmo motivo se atribuem as altas concentrações de nitratos registadas nos furos Falb4 e Falb8, acima dos valores paramétricos (V.P.) permitidos para águas de consumo humano (Dec. Lei 206/2007), (Figura 32).

Em ambas as campanhas, as maiores concentrações de nitratos são verificadas nas águas subterrâneas (furos e poços), o que indica que é a água subterrânea que influencia a concentração de nitratos na lagoa.

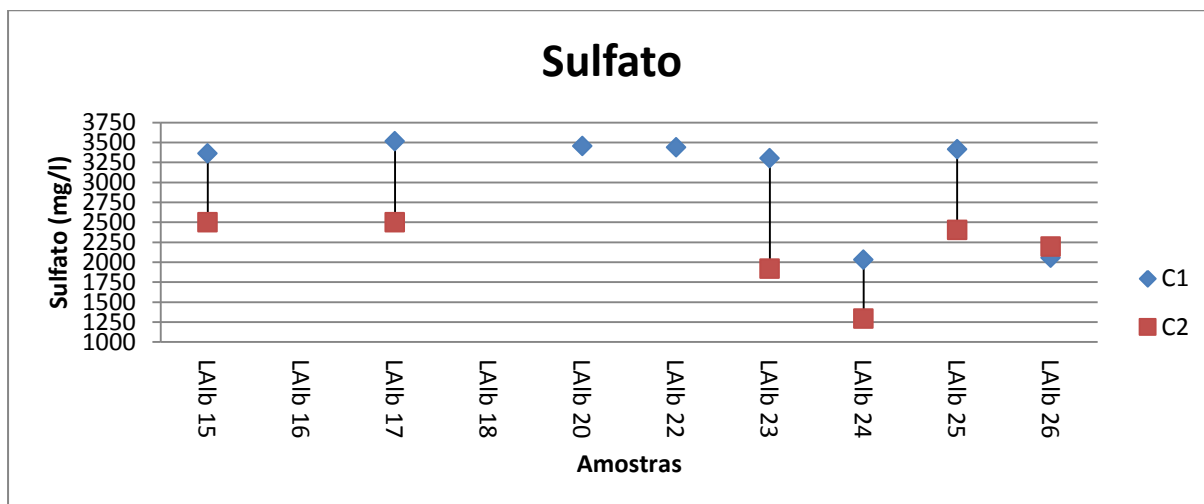


Figura 36 - Variação da concentração de sulfato nas águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

A concentração de sulfatos das amostras recolhidas na lagoa é bastante maior do que nos poços, furos e ribeiras.

De um modo geral, de condições de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) a quantidade de sulfatos diminuiu, à excepção de FAlb3, LAlb26 e RAlb27.

A amplitude entre valores, bem como os valores máximos de sulfatos, são consideravelmente maiores nas amostras da lagoa enquanto as amostras correspondentes às ribeiras são as que possuem concentrações menores.

Fosfato

Na campanha 1 (C1) apenas foi possível obter valores da concentração de fosfatos para as amostras LAlb15 (16,18) e LAlb25 (0,42). Em todas as restantes amostras, incluindo as da campanha2 (C2) os valores de fosfatos encontram-se abaixo do limite de detecção do método utilizado.

Bicarbonato

Em condições de barra aberta (C1) a concentração de bicarbonato varia entre 30,5 mg/l em RAlb13 e 274,5 mg/l em PAlb14 (Figura 37). Nos poços e furos os valores oscilam entre 67,1 mg/l no furo FAlb2 e 274,5 mg/l em Palb14, enquanto na lagoa a concentração varia entre 150,1 em LAlb22 e 173,2 LAlb26. Nas águas recolhidas nas ribeiras a concentração mínima de bicarbonato corresponde à amostra 30,5 mg/l em RAlb13 e a máxima a 179,3 em RAlb11.

Aquando da barra fechada (C2) as concentrações de bicarbonato variam de 67,1 mg/l em PAlb21 a 212,28 mg/l em PAlb10 (Figura 37). Nas águas subterrâneas, a concentração mínima é encontrada na amostra Palb21 (67,1 mg/l) e a máxima em Palb10 (212,3 mg/l) enquanto na lagoa os valores oscilam entre 126,9 mg/l em LAlb23 e 148,8 mg/l em LAlb25. A amostra da ribeira RAlb27 tem uma concentração de bicarbonato de 93,9 mg/l.

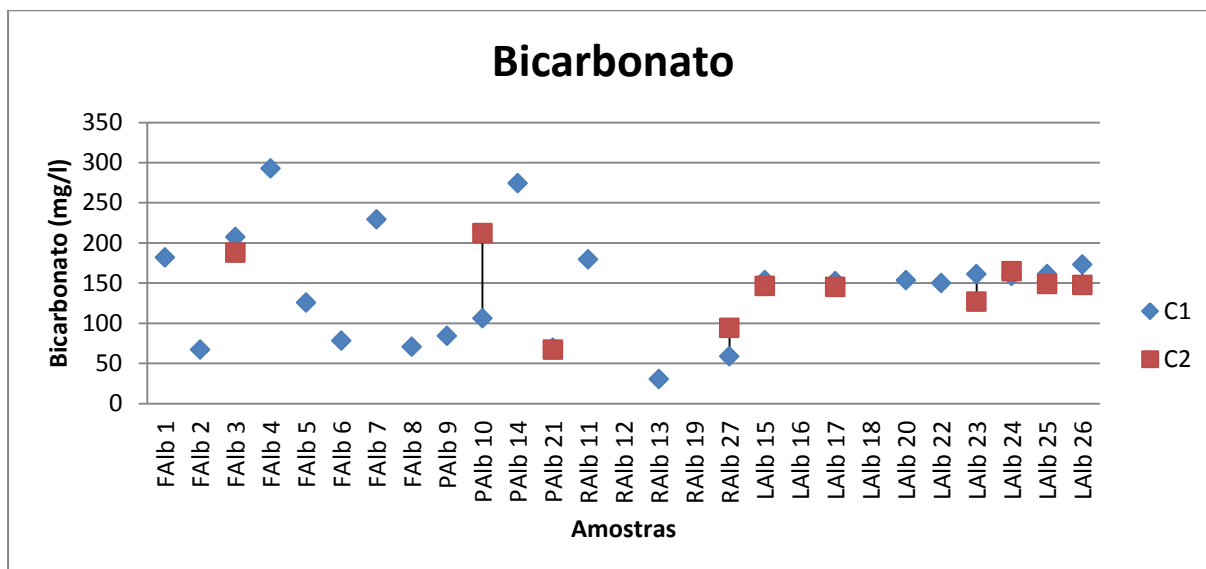


Figura 37 - Variação da concentração de bicarbonato nas águas amostradas em condições de barra aberta (C1) e barra fechada (C2).

Em condições de barra aberta (C1) a concentração de bicarbonato varia entre 30,5 mg/l em RAlb13 e 274,5 mg/l em PAIb14. Nos poços e furos os valores oscilam entre 67,1 mg/l no furo Falb2 e 274,5 mg/l em Palb14, enquanto na lagoa a concentração varia entre 150,1 em Lalb22 e 173,2 Lalb26. Nas águas recolhidas nas ribeiras a concentração mínima de bicarbonato corresponde à amostra 30,5 mg/l em Ralb13 e a máxima a 179,3 em Ralb11.

Aquando da barra fechada (C2) as concentrações de bicarbonato variam de 67,1 mg/l em PAIb21 a 212,28 mg/l em PAIb10. Nas águas subterrâneas, a concentração mínima é encontrada na amostra Palb21 (67,1 mg/l) e a máxima em Palb10 (212,3 mg/l) enquanto na lagoa os valores oscilam entre 126,9 mg/l em Lalb23 e 148,8 mg/l em Lalb25. A amostra da ribeira Ralb27 tem uma concentração de bicarbonato de 93,9 mg/l.

De um modo geral, de condições de barra aberta (C1) para barra fechada (C2), a quantidade de bicarbonato nas águas amostradas diminuiu, à excepção de PAIb10, RAlb27 e LAlb24, onde se verificaram aumentos de concentração deste ião. Mais uma vez se verifica, em Palb10 e Ralb27, a dissolução da rocha carbonatada nos aquíferos, que se reflecte num aumento de bicarbonato, que, com a ausência de chuva durante a campanha de Inverno, se encontra evidenciado.

Em ambas as campanhas, nas águas recolhidas da lagoa verifica-se bastante uniformidade nas concentrações de bicarbonato, variando estes entre 126,88 mg/l e 173,24 mg/l, enquanto nos poços, furos e ribeiras se verificam maiores amplitudes entre valores. As amostras das ribeiras são as que de um modo geral, têm menores concentrações de bicarbonato, à excepção de Ralb11, em condições de barra aberta, com 179,34 mg/l.

4.5.1. Fácies hidroquímica

A fácies hidroquímica de uma água é o resultado do compromisso entre as diferentes espécies químicas que constituem a água, revela os iões predominantes nesta e permite aferir as relações iónicas que se estabelecem entre a fase sólida (mineral) e a água. Desta forma, conseguem-se obter informações acerca da composição das rochas por onde esta circula.

Os diagramas de Stiff permitem representar graficamente a composição hidroquímica de uma água subterrânea. Espelham o grau de mineralização das águas bem como a distribuição da fácies hidrogeoquímica, realizando desta forma a sua caracterização (Figuras 38 a 41).

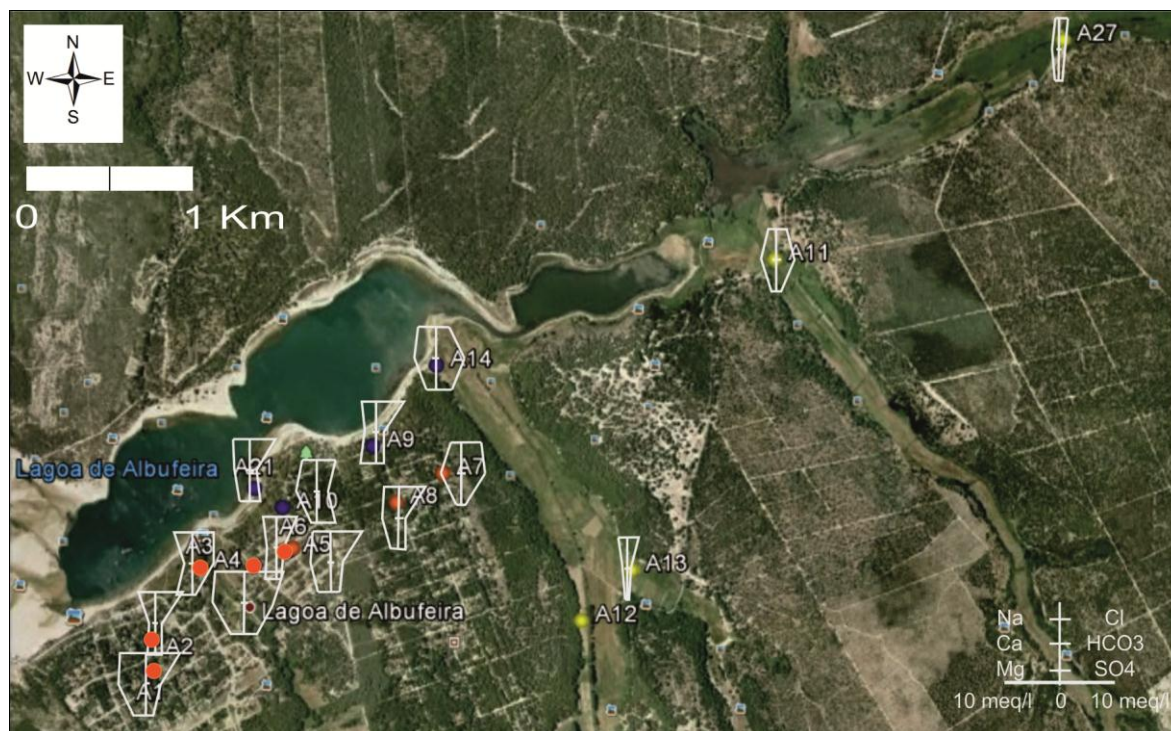


Figura 38 – Diagramas de Stiff para as águas amostradas nos poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).

Em condições de barra aberta (C1) é possível verificar que a maioria das amostras correspondentes aos furos têm fácies cloretadas, das quais Falb1, Falb4 e Falb5 são cloretadas sódico-cálcicas, Falb2 é cloretada cálcica, Falb6 é cloretada calco-magnésica e Falb8 é cloretada sódica. Falb3 é cloretada-bicarbonatada calco-magnésica, pelo que apesar do seu grande conteúdo em cloretos, se distingue também por uma elevada concentração de bicarbonato. A amostra correspondente ao furo Falb7 é uma água com características diferentes, tem menos cloretos que as restantes, pelo que é classificada como bicarbonatada sódica.

Em relação aos poços, as águas amostradas possuem concentrações de iões muito distintas. A amostra Palb10 corresponde a uma água cloretada magnésico-cálcica, Palb10 denuncia uma água sulfatada-cloretada sódica, a amostra Palb14 é bicarbonatada sódico-cálcica e Palb21 é sulfatada calco-sódica.

As ribeiras amostradas denunciam também fácies distintas. Ralb11 corresponde a uma água bicarbonatada sódica, Ralb13 é cloretada cálcica e Ralb27 cloretada-bicarbonatada sódica.

O cálcio e o sódio são os catiões presentes em maior concentração, de um modo geral, seguindo-se o magnésio que surge apenas em 3 águas amostradas: Furos Falb3 e Falb6 e no poço Palb9.

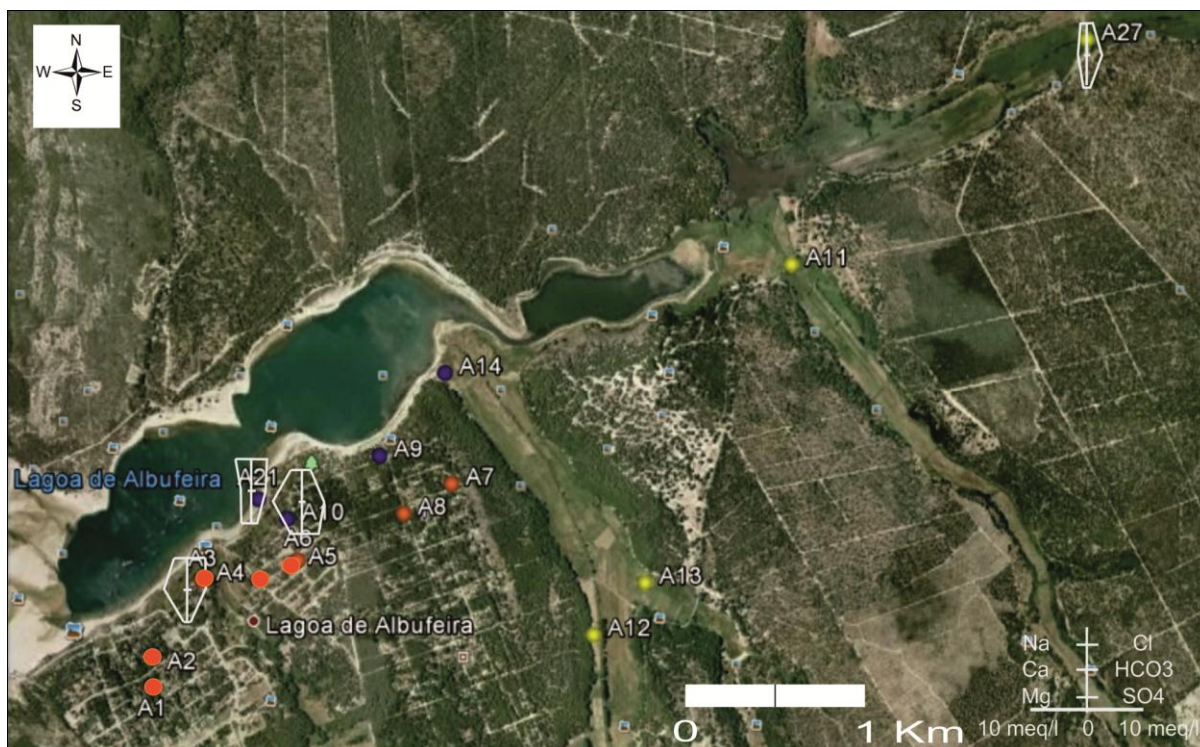


Figura 39 - Diagramas de Stiff para as águas amostradas nos poços, furos e ribeiras em condições de barra fechada (C2).

Em condições de barra fechada (C2) a fácies do único furo amostrado Falb3 é cloretada-bicarbonatada sódica. O poço Palb10 tem fácies bicarbonatada sódica e o poço Palb21 cloretada-bicarbonatada sódica. A ribeira Ralb27 é sulfatada sódica. Aquando da barra fechada os catiões que surgem em maiores concentrações são, tal como em barra aberta, o sódio e o cálcio.

Nas amostras em que foi possível a realização das duas campanhas, permitindo desta forma a comparação da sua fácies (Tabela 6), verifica-se que nos poços e furos, de condições de barra aberta (C1) para barra fechada (C2), houve um claro aumento de bicarbonato nas três amostras. No poço Palb10 verifica-se uma acentuada diminuição na concentração dos cloretos, tal como acontece na ribeira Ralb27, apresentando esta última, de barra aberta (C1) para barra fechada (C2) um considerável aumento de sulfatos.

Tabela 6 - Variação das fácies hidroquímicas em condições de barra aberta e barra fechada.

Fácies hidroquímica		
Amostras	Barra aberta (C1)	Barra fechada (C2)
Falb1	Cloretada sódico-cálcica	-
Falb2	Cloretada cálcica	-
Falb3	Cloretada-bicarbonatada calco-magnésica	Cloretada-bicarbonatada sódica
Falb4	Cloretada sódico-cálcica	-
Falb5	Cloretada sódico-cálcica	-
Falb6	Cloretada calco-magnésica	-
Falb7	Bicarbonatada sódica	-
Falb8	Cloretada sódica	-
Palb9	Cloretada magnésico-cálcica	-
Palb10	Cloretada-Sulfatada sódica	Bicarbonatada sódica
Ralb11	Bicarbonatada sódica	-
Ralb13	Cloretada cálcica	-
Palb14	Bicarbonatada sódico-cálcica	-
Palb21	Cloretada calco-sódica	Cloretada-bicarbonatada cálcica
Ralb27	Cloretada-bicarbonatada sódica	Sulfatada sódica

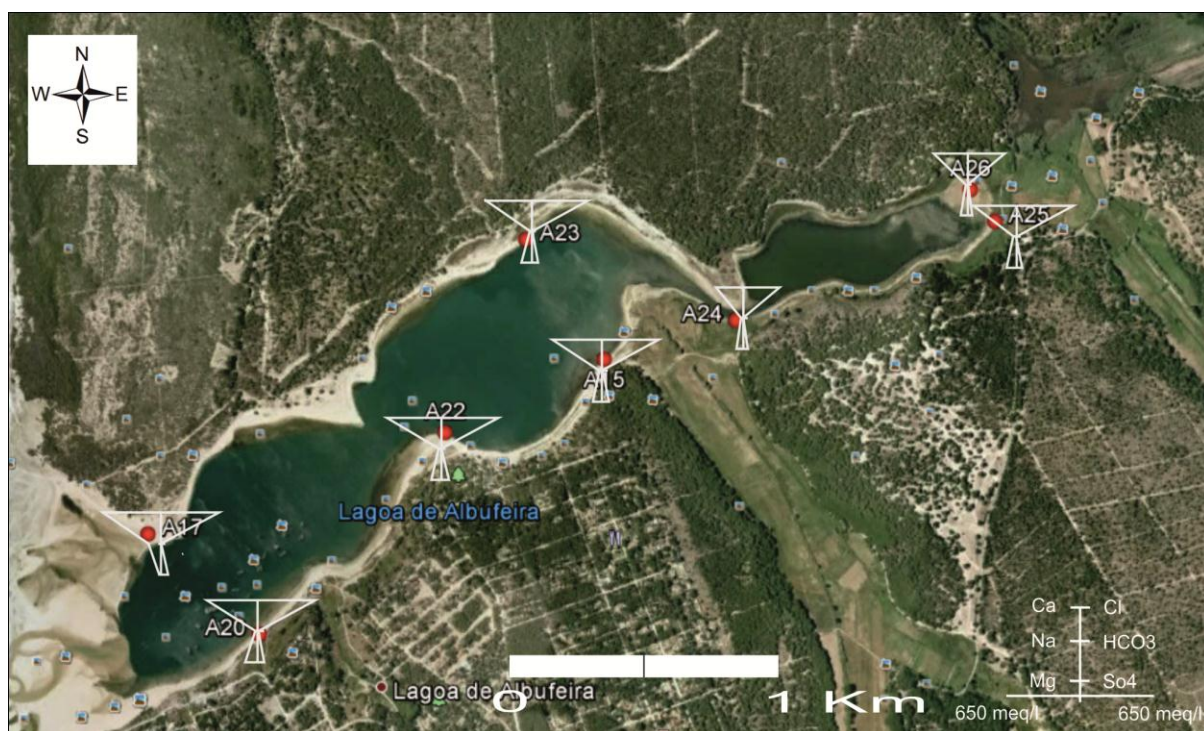


Figura 40 - Diagramas de Stiff para as águas amostradas na lagoa em condições de barra aberta (C1).

Em condições de barra aberta (C1) todas as águas analisadas na lagoa têm fácies cloretada cálcica.

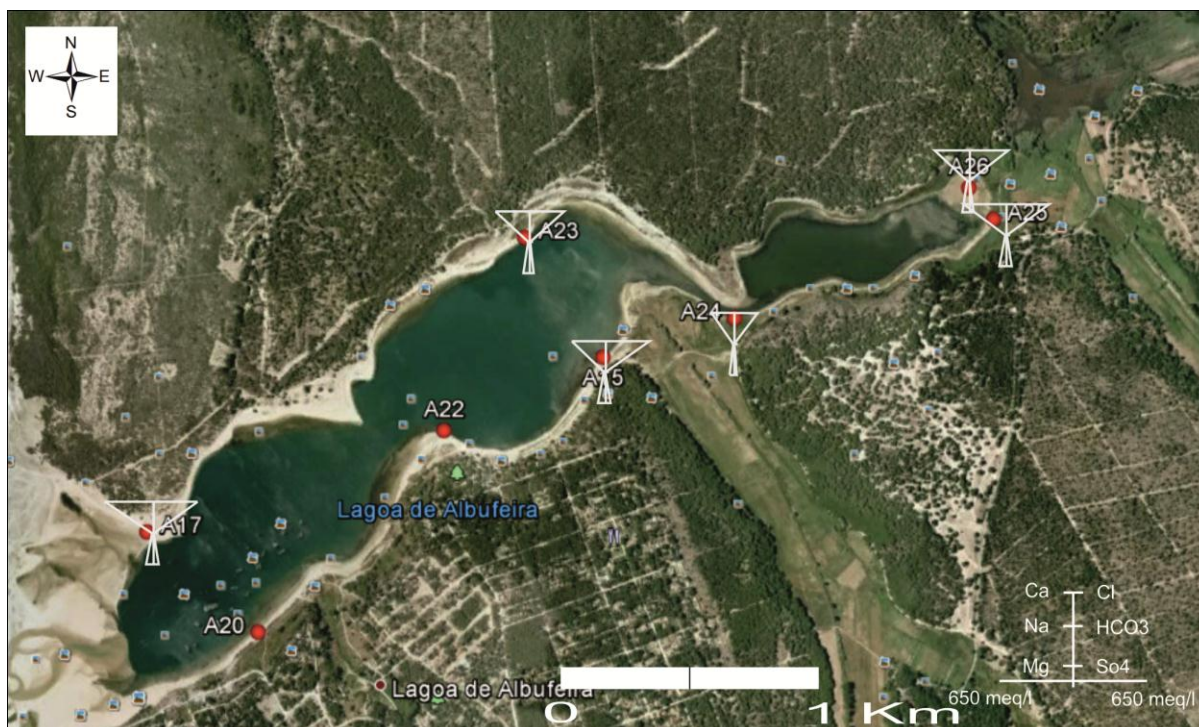


Figura 41 - Diagramas de Stiff para as águas amostradas na lagoa em condições de barra fechada (C2).

Aquando da barra fechada (C2), todas as águas analisadas da lagoa têm fácies cloretada cálcica.

Verifica-se que a fácies hidroquímica das amostras referentes às águas recolhidas na lagoa é cloretada cálcica em barra aberta (C1) e em barra fechada (C2). No entanto, é notória uma diminuição da concentração de cloretos e de cálcio em condições de barra fechada.

4.5.2. Índices hidrogeoquímicos

Com vista a uma melhor compreensão das relações entre os iões dissolvidos numa água foram calculados os índices hidrogeoquímicos rMg/rCa , $rCl/rHCO_3$, rSO_4/rCl e rK/rNa das águas em estudo para as duas campanhas, barra aberta (C1) e barra fechada (C2), cujos dados obtidos se podem verificar nas Tabelas 7 e 8, respectivamente. Segundo Custódio e Llamas (1976) estes índices podem dar indicações acerca dos terrenos e das águas que os atravessam, ou até indicar características específicas da água.

rMg/rCa

Segundo Custódio e Llamas (1976) o presente índice varia entre 0,3 e 1,5 em águas continentais enquanto na água do mar pode atingir o valor 5.

As amostras de água em estudo na campanha 1 (C1 barra aberta), recolhidas em poços, furos e ribeiros são consideradas águas continentais. O furo Falb3 apresenta o valor 2,3, e a amostra Lalb17 é 0,1, provavelmente porque se tratam de águas de mistura de água doce com água do mar. O furo Falb7 e o poço Palb10 apresentam um índice um pouco inferior ao expectável sendo no entanto ambas consideradas águas continentais. À excepção de Lalb17, como foi referido, as restantes amostras da lagoa apresentam índices que demonstram claramente que se trata de água do mar.

Das amostras recolhidas na campanha 2 (C2 barra fechada) as correspondentes aos poços e ribeiras enquadram-se no intervalo definido para as águas continentais. O mesmo sucede com o furo Falb3, apesar de apresentar um índice mais reduzido que o intervalo dado para águas continentais. As amostras da lagoa têm índices compatíveis com a água do mar.

$rCl/rHCO_3$

Esta relação toma valores entre 0,1 a 5 no caso das águas continentais e entre 20 a 50 na água do mar (Custódio e Llamas, 1976).

As amostras analisadas na campanha 1 (C1 barra aberta), correspondentes aos poços, furos e ribeiras encontram-se definidas pelo intervalo relativo às águas continentais. Os valores referentes às amostras da lagoa são consideravelmente superiores ao expectável, atingindo valores para o índice que vão desde 142 em Lalb24 a 243 em Lalb17. Isto deve-se à reduzida concentração de bicarbonato nas águas, por influência da diluição que surge com a mistura com águas superficiais.

O mesmo sucede na campanha 2 (C2 barra aberta), para a qual as amostras da lagoa têm índices que vão desde os 90,7 (Lalb24) até 190,7 (Lalb17).

rSO_4/rCl

Este índice, segundo Custódio e Llamas (1976), toma valores superiores a 0,1 para águas continentais e inferiores a 0,1 quando se tratam de águas marinhas.

Todas as águas estudadas na campanha 1 (C1 barra aberta) possuem um índice compatível com águas continentais. No entanto as amostras da Lagoa tomam valores entre 0,11 e 0,12, bastante próximas do limiar águas continentais/águas marinhas.

Na campanha 2 (barra aberta), verifica-se situação semelhante.

rK/rNa

Segundo Custódio e Llamas (1976), a presente relação varia entre 0,004 e 0,3 para águas doces enquanto no caso de água salgada o índice toma valores entre 0,02 e 0,025.

Em relação às amostras dos poços, furos e ribeiras da campanha 1 (C1 barra aberta), todas se enquadram no intervalo definido para as águas doces. As águas da lagoa têm índice compatível com a água salgada, à excepção das amostras Lalb15, Lalb17 e Lalb24, que estão no intervalo das águas doces, porém, como se encontram muito próximo do limiar (0,0168; 0,0198; 0,0173) verifica-se que são águas com grande % de mistura de água doce com água salgada.

Em relação às águas recolhidas na campanha 2 (C2 barra fechada), Falb3, Lalb15 e Lalb26, estas encontram-se no intervalo definido para as águas salgadas. Todavia, Falb3 encontra-se muito próximo do limiar água doce - água salgada. As restantes amostras de águas têm índices compatíveis com as águas doces, no entanto, muito próximos dos valores considerados para identificar águas salgadas pelo que se conclui tratarem-se de águas resultantes de mistura água doce/água salgada.

Tabela 7 - Índices hidrogeoquímicos das águas amostradas em condições de barra aberta (C1).

C1	rMg/rCa (meq/l)	rCl/rHCO ₃ (meq/l)	rSO ₄ /rCl (meq/l)	rK/rNa (meq/l)
Falb 1	0,367411	2,015607	0,302925	0,030523
Falb 2	1,278306	3,942285	0,255005	0,029787
Falb 3	2,130696	1,012888	0,173495	0,041134
Falb 4	0,402157	1,329474	0,341551	0,065972
Falb 5	0,678062	2,473805	0,314015	0,031999
Falb 6	1,10378	2,555143	0,265526	0,043666
Falb 7	0,242966	0,856179	0,193102	0,040239
Falb 8	0,491283	3,634517	0,286447	0,038338
Palb 9	1,30048	3,260778	0,313132	0,052065
Palb 10	0,284796	1,659446	1,030299	0,084074
Ralb 11	0,343208	0,555742	0,432983	0,069825
Ralb 13	0,475389	3,43874	0,182048	0,032477
Palb 14	0,419394	0,464217	1,179362	0,067001
Lalb 15	3,425212	232,3733	0,119601	0,016794
Lalb 17	0,112049	243,4009	0,120228	0,019831
Lalb 20	5,54049	236,6871	0,119849	0,020191
Palb 21	0,648598	3,627992	0,275682	0,043362
Lalb 22	4,422255	242,4538	0,120083	0,02197
Lalb 23	5,694918	218,1599	0,119318	0,022157
Lalb 24	4,995448	142,2611	0,114226	0,020951
Lalb 25	3,996209	224,4929	0,119986	0,024764
Lalb 26	5,280942	134,3335	0,112132	0,017254
Ralb 27	0,614218	1,542961	0,400273	0,044778

Tabela 8 - Índices hidrogeoquímicos das águas amostradas em condições de barra fechada (C2).

C2	rMg/rCa (meq/l)	rCl/rHCO ₃ (meq/l)	rSO ₄ /rCl (meq/l)	rK/rNa (meq/l)
Falb 3	0,137591	0,95253	0,255262	0,021621
Palb 10	0,388886	0,407176	1,868191	0,1422
Lalb 15	4,633985	189,1827	0,114665	0,021036
Lalb 17	4,95881	190,7219	0,114682	0,015114
Ralb 21	1,00216	2,399151	0,413177	0,03683
Lalb 23	4,65475	171,5073	0,111934	0,01924
Lalb 24	4,561556	90,68883	0,109904	0,016379
Lalb 25	4,887304	178,9494	0,114654	0,016736
Lalb 26	4,957647	166,3177	0,113539	0,024385
Ralb 27	0,401512	0,638849	0,626081	0,055125

4.5.3. Equilíbrio água-rocha

Os equilíbrios água rocha permitem obter informações acerca das reacções de dissolução e precipitação das fases sólidas que ocorrem numa água subterrânea ao longo do seu percurso, desde que ocorre infiltração até à surgência das mesmas.

O cálculo do Índice de Saturação (IS) de cada água é efectuado através da equação $IS = \log(IAP/Kt)$, e permite obter informações acerca do comportamento de cada fase sólida, na qual IAP é o produto das actividades dos iões que resultam da reacção de dissolução do mineral e Kt a respectiva constante de equilíbrio para a temperatura da água.

O estado de equilíbrio da água em relação à fase sólida é avaliado pelas seguintes relações: Log IS maior que 0,1 - solução sobressaturada com tendência à precipitação da fase sólida;

Log IS entre -0,1 e 0,1 - solução em equilíbrio, sem tendência a precipitação ou dissolução da fase sólida;

Log IS menor que -0,1 - solução subsaturada com possibilidade de dissolução da fase sólida.

No presente trabalho foram calculados os IS para as águas em estudo relativamente às fases sólidas anidrite, aragonite, calcite, dolomite, fluorite, gesso e halite através do *software Phreeqc Interactive* para C1 (campanha 1 barra aberta) e C2 (campanha 2 barra fechada). Os dados obtidos estão representados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Índices de saturação das águas amostras analisadas em condições de barra aberta (C1). Azul significa água subsaturada, laranja significa água em equilíbrio e verde água sobressaturada.

Referência	Anidrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gesso	Halite
Falb 1	-2,2	2,09	2,24	4,07	-1,97	-6,34
Falb 2	-2,59	-0,79	-0,65	-1,09	-2,36	-6,6
Falb 3	-2,82	0,04	0,19	0,78	-2,59	-6,82
Falb 4	-1,79	0,6	0,75	1,16	-1,55	-6,21
Falb 5	-2,49	-0,93	-0,78	-1,67	-2,25	-6,5
Falb 6	-2,52	-0,43	-0,29	-0,44	-2,29	-6,83
Falb 7	-2,38	0,5	0,64	0,75	-2,14	-6,91
Falb 8	-2,19	-0,32	-0,17	-0,58	-1,95	-6,66
Palb 9	-2,31	-0,67	-0,53	-0,85	-2,08	-6,63
Palb 10	-1,73	-0,02	0,13	-0,21	-1,49	-6,81
Ralb 11	-2,41	0,34	0,49	0,58	-2,17	-7,31
Ralb 13	-3,1	-1,18	-1,04	-2,35	-2,86	-7,21
Palb 14	-1,82	0,58	0,73	1,13	-1,58	-6,88
Lalb 15	-0,62	0,04	0,19	1,04	-0,4	-2,42
Lalb 17	0,03	0,77	0,92	1,03	0,24	-2,34
Lalb 20	-0,74	0,06	0,2	1,31	-0,53	-2,41
Palb 21	-2,19	-2,1	-1,95	-4,11	-1,95	-6,62
Lalb 22	-0,7	0,09	0,23	1,26	-0,49	-2,37
Lalb 23	-0,78	0,04	0,19	1,28	-0,57	-2,45
Lalb 24	-0,99	0,03	0,17	1,17	-0,77	-2,87
Lalb 25	-0,64	0,17	0,32	1,39	-0,43	-2,49
Lalb 26	-1,02	0,04	0,18	1,24	-0,81	-2,77
Ralb 27	-2,75	-0,44	-0,29	-0,75	-2,51	-7,7

Os IS das amostras analisadas durante a campanha 1 (C1 barra aberta) indicam que para a Anidrite as amostras encontram-se subsaturadas, à exceção de Lalb17 que está em equilíbrio, assim como acontece com o Gesso, à exceção de Lalb17, que se encontra saturada. No caso da Halite todas as amostras recolhidas estão subsaturadas nesta fase sólida.

Em relação à Dolomite todas as amostras correspondentes a águas recolhidas na Lagoa se encontram sobressaturadas, com tendência a precipitar esta fase. Nas amostras dos furos, poços e ribeiras verifica-se que existe tendência a precipitar nos furos Falb1, Falb3, Falb4 e Falb7, na ribeira Ralb11 e no poço Palb14. Existe tendência de dissolução nos furos Falb2, Falb5, Falb6 e Falb8, nas ribeiras Falb13 e Falb27, e nos poços Palb9, Palb10 e Palb21.

Os IS em relação à Calcite demonstram resultados semelhantes à Dolomite, à exceção de Palb10 que se encontra subsaturada, com tendência à dissolução.

As amostras recolhidas na Lagoa, à exceção de Lalb17 e Lalb25 que se encontram sobressaturadas em relação à Aragonite, todas se encontram em equilíbrio, sem tendência para precipitar ou dissolver esta fase sólida. Nos furos, poços e ribeiras, a tendência a precipitar esta fase, verifica-se nas amostras Falb1, Falb4, Falb7, Ralb11 e Palb14. As amostras dos furos, poços e ribeiras que se encontram subsaturadas, em relação à Aragonite, são: Falb2, Falb5, Falb6, Falb8, Palb9, Palb21, Ralb13 e Ralb27. As amostras Falb3 e Palb10 estão em equilíbrio.

Tabela 10 - Índices de saturação das águas amostras analisadas em condições de barra fechada(C2). Azul significa água subsaturada, laranja significa água em equilíbrio e verde água sobressaturada.

Referência	Anidrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gesso	Halite
Falb 3	-2,26	0,02	0,17	-0,53	-2,01	-6,86
Palb 10	-1,85	-0,61	-0,46	-1,14	-1,6	-7,27
Lalb 15	-0,86	0,04	0,19	1,1	-0,63	-2,68
Lalb 17	-0,92	-0,09	0,07	0,87	-0,68	-2,52
Palb 21	-2,44	-1,94	-1,79	-3,61	-2,19	-6,83
Lalb 23	-1	-0,05	0,1	0,92	-0,77	-2,77
Lalb 24	-1,19	-0,18	-0,03	0,6	-0,94	-3,06
Lalb 25	-0,9	0,01	0,16	1,01	-0,67	-2,57
Lalb 26	-0,92	0,02	0,18	1,04	-0,68	-2,7
Ralb 27	-2,62	-0,67	-0,51	-1,5	-2,37	-7,66

Os IS das amostras recolhidas ao longo da campanha2 (C2 barra fechada) demonstram que as mesmas se encontram subsaturadas em relação à Anidrite, Gesso e Halite, com tendência à dissolução destas fases sólidas.

Em relação à Aragonite, as amostras das águas da Lagoa encontram-se em equilíbrio, sem tendência para a precipitação ou dissolução, com exceção da Lalb24 que está subsaturada. A água do furo analisado na campanha 2 (Falb3) encontra-se em equilíbrio nesta fase sólida e os poços estão subsaturados, com tendência à ocorrência de dissolução da Aragonite. A água da única ribeira amostrada na presente campanha está subsaturada (Ralb27).

As amostras referentes à Lagoa estão sobressaturadas em calcite, com exceção das amostras Lalb17 e Lalb24 as quais estão em equilíbrio. O furo Falb3 está saturado nesta fase sólida enquanto que os poços e a ribeira Ralb27 estão subsaturados, com tendência à dissolução.

Em relação à Dolomite, todos os poços, furos e ribeiras estão subsaturados, com tendência à dissolução desta fase sólida. As amostras recolhidas na Lagoa encontram-se sobressaturadas, sendo propícia a precipitação e incrustações.

4.5.4. Processos de mistura e/ou contaminação

A representação gráfica entre iões e alguns parâmetros permite o conhecimento da existência de processos de mistura e/ou contaminação, bem como da natureza dos mesmos.

4.5.4.1. Campanha 1

Cloreto vs sódio

Nas Figuras 42 e 43, está representada a relação entre as concentrações de cloreto e sódio.

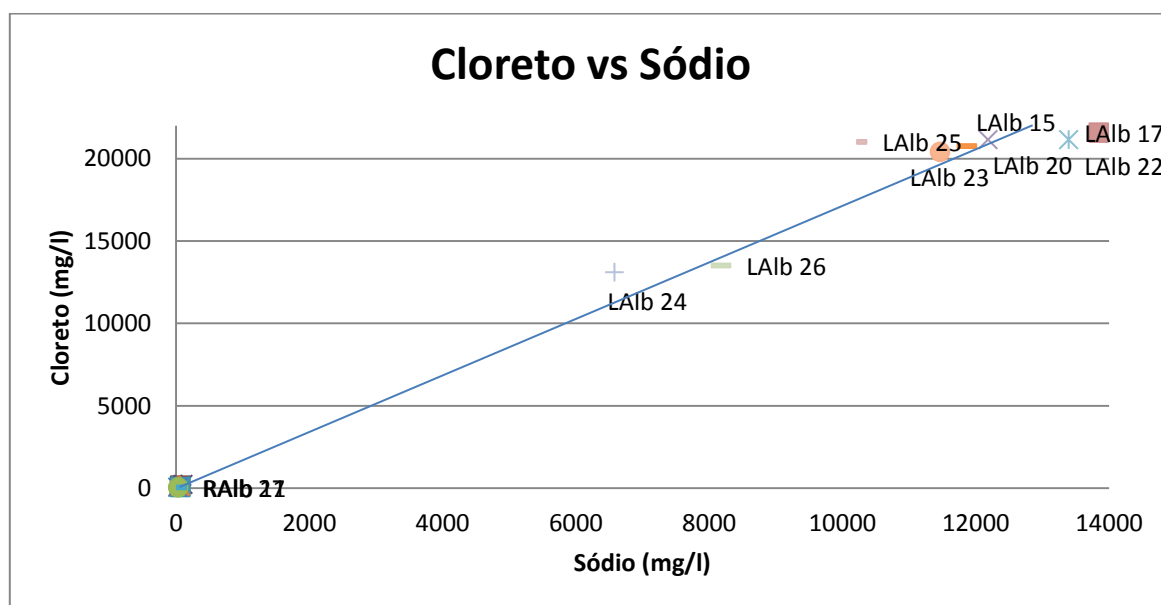


Figura 42 - Relação entre as concentrações de cloreto e sódio das águas analisadas em barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar.

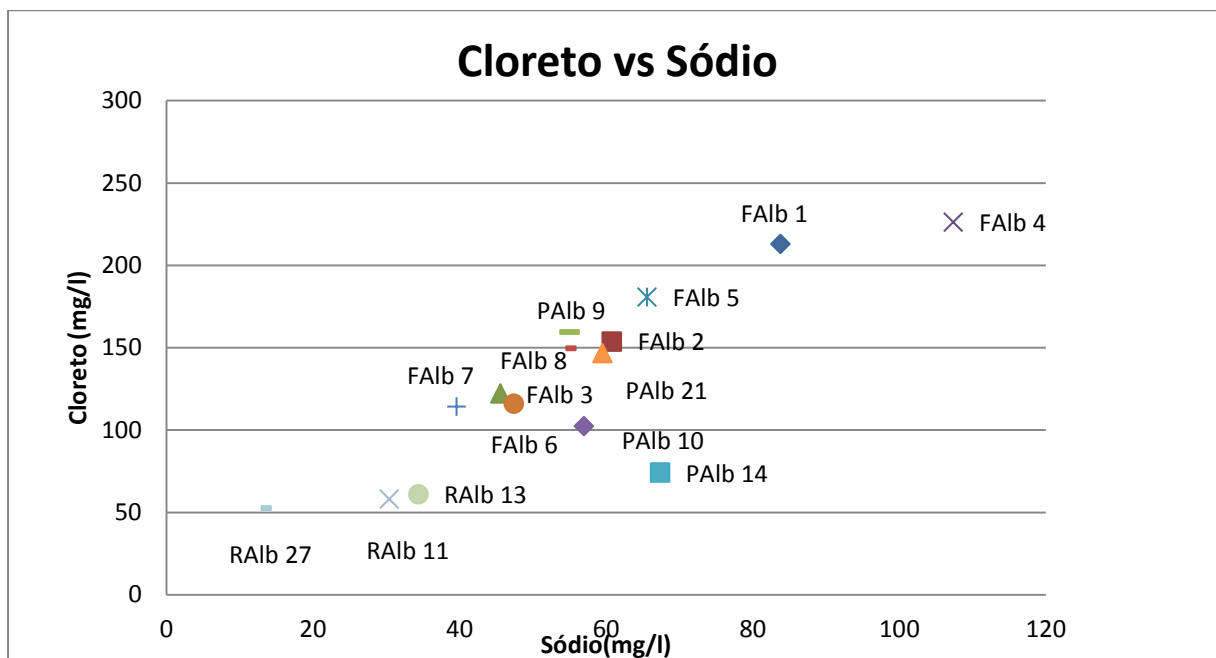


Figura 43 - Relação entre as concentrações de cloreto e sódio das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).

A projecção das amostras num diagrama sódio vs cloreto apresenta uma boa correlação e verifica-se que todas as amostras se encontram próximas da linha de mistura com a água do mar. A mineralização nas ribeiras é menor e percebe-se um aumento de mineralização dos furos em relação aos poços, sendo o furo Falb4 o mais mineralizado. No poço Palb14 e no furo Falb4 existe uma maior entrada de sódio no sistema, evidenciando uma superior contribuição da água da lagoa nestes dois pontos.

Através da observação do diagrama verifica-se que as águas Lalb24 e lalb26 são águas de mistura de água do mar com água superficial.

Brometo vs cloreto

Nas Figuras 44 e 45, está representada a relação entre as concentrações de brometo e cloreto.

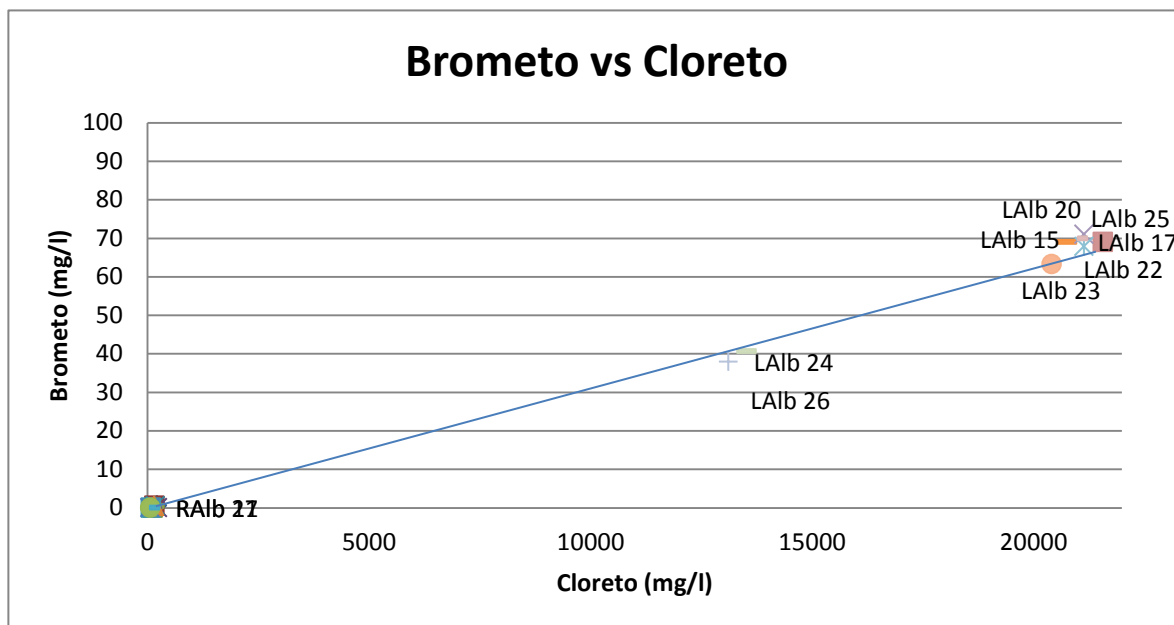


Figura 44 - Relação entre as concentrações de brometo e cloreto das águas analisadas em condições de barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar.

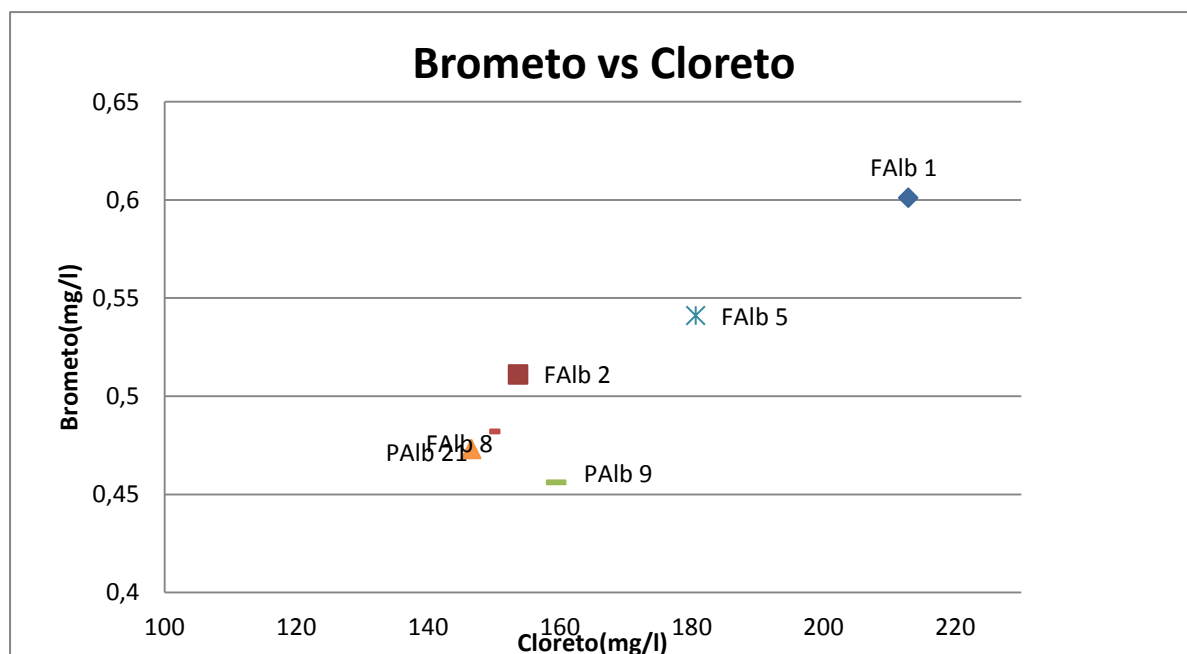


Figura 45 - ação entre as concentrações de brometo e cloreto das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).

A projecção das amostras num diagrama brometo vs cloreto denuncia uma boa correlação onde todas as amostras se aproximam da linha de mistura com a água do mar. No poço Palb9 há uma maior entrada de cloreto no sistema.

Novamente surgem as amostras Lalb26 e Lalb24 como águas de mistura de água doce com água do mar.

Cálcio vs sódio

Nas Figuras 46 e 47, está representada a relação entre as concentrações de cálcio e sódio.

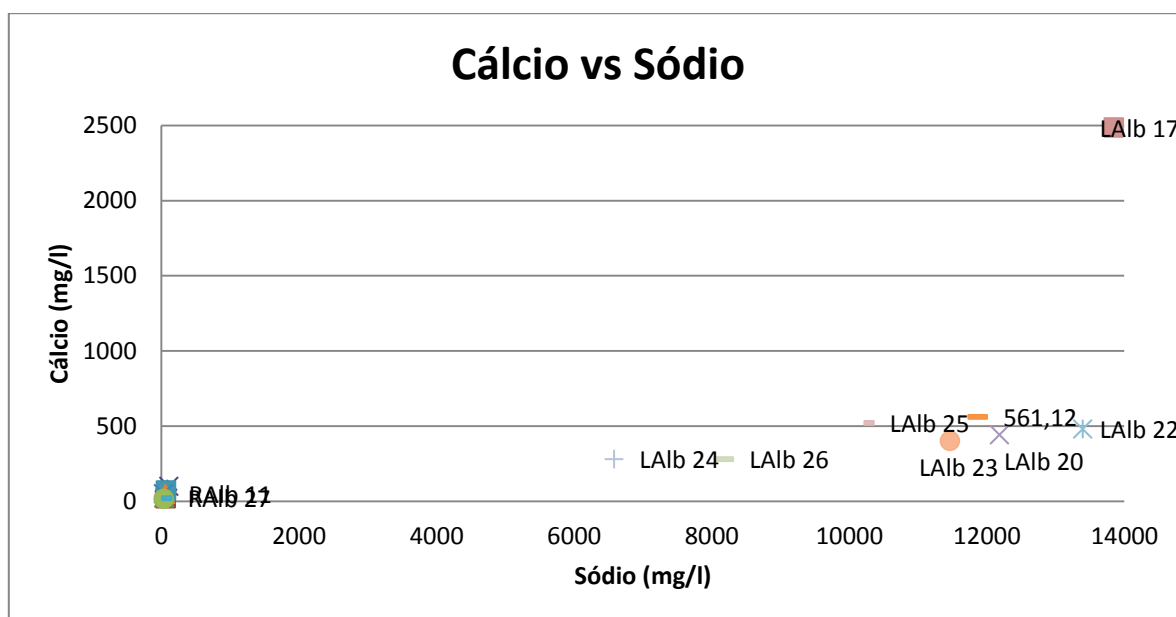


Figura 46 - Relação entre as concentrações de cálcio e sódio das águas analisadas em condições de barra aberta (C1).

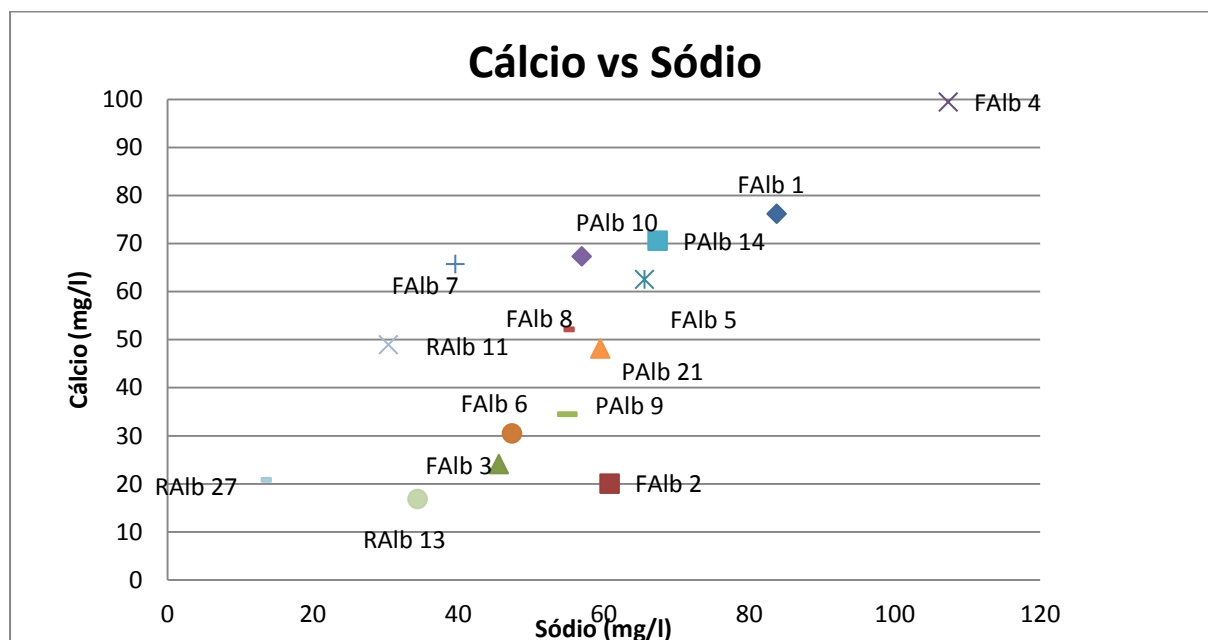


Figura 47 - Relação entre as concentrações de cálcio e sódio das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).

A relação entre o cálcio e o sódio indica uma boa correlação e permite verificar que a entrada dos dois iões no sistema é quase constante, i. é., entra cálcio e magnésio no sistema em proporções semelhantes. Em Falb7, Ralb11 e Lalb17, há uma nítida maior entrada de cálcio no sistema, o que sugere uma maior contribuição de água subterrânea nestes pontos. Mais uma vez surge o furo Falb4 como o mais mineralizado.

Nitrato vs cloreto

Nas Figuras 48 e 49 observa-se a relação entre as concentrações de nitrato e cloreto.

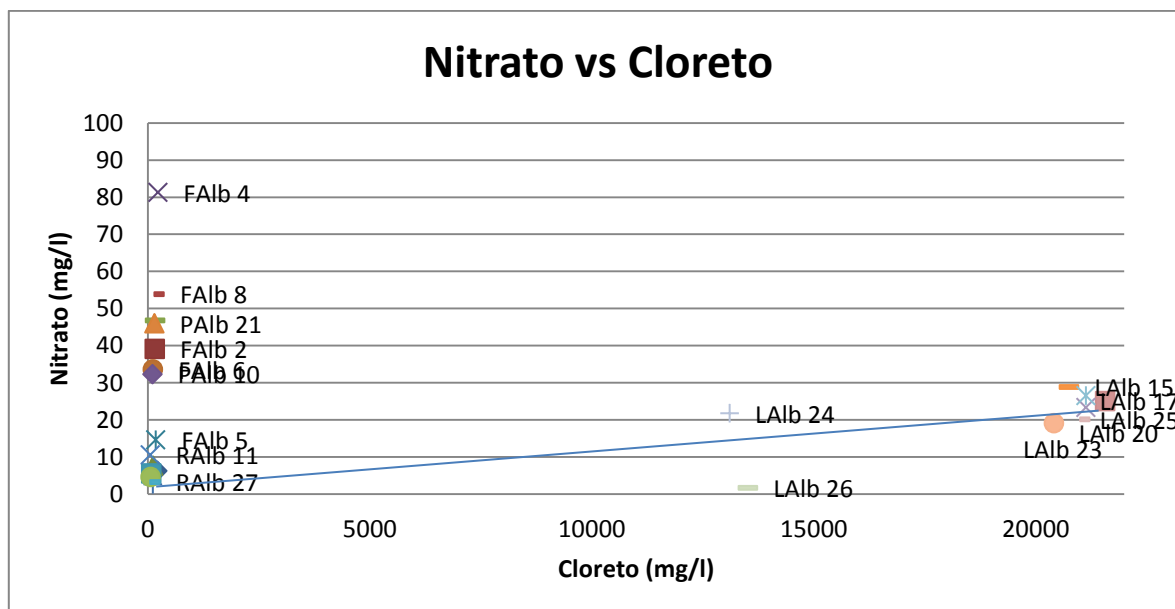


Figura 48 - Relação entre as concentrações de nitrato e cloreto das águas analisadas em condições de barra aberta (C1).

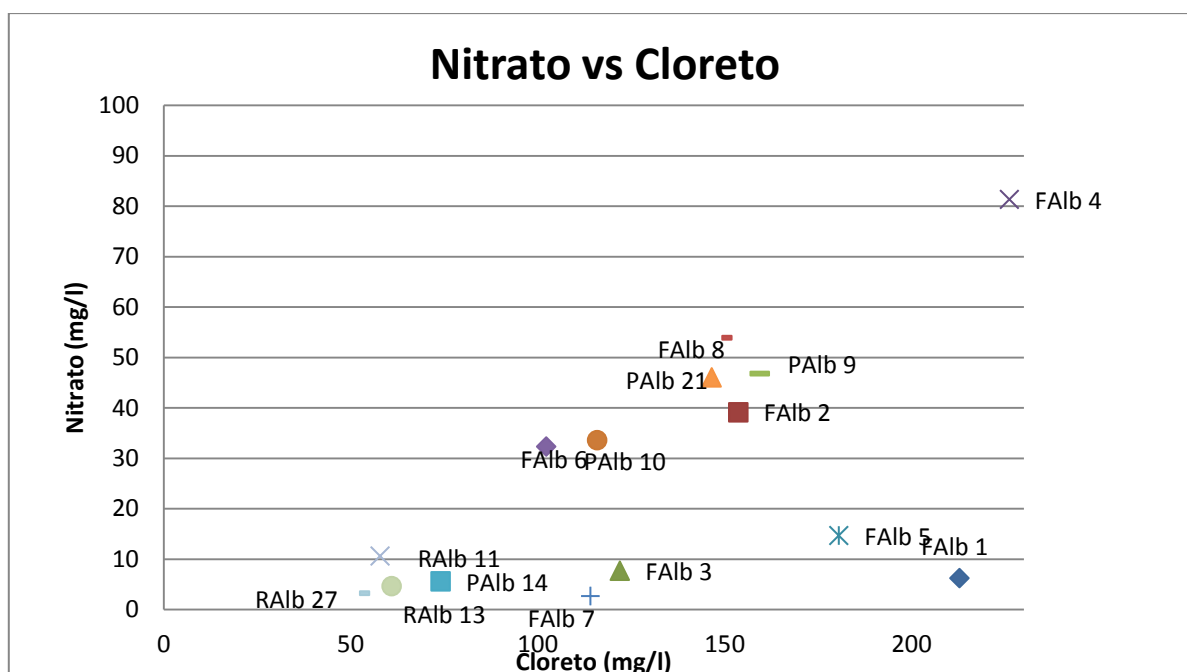


Figura 49 - Relação entre as concentrações de nitrato e cloreto das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).

A projecção das amostras em diagramas nitrato vs cloreto permite verificar que as águas recolhidas nos furos e poços são as que apresentam maior concentração de nitratos, em

especial os furos Falb8 e falb3. As águas da lagoa têm reduzidas concentrações deste ião e, por sua vez, como seria de esperar, têm grandes quantidades de cloretos dissolvidos. As amostras correspondentes às ribeiras são as menos mineralizadas e menos contaminadas com os nitratos, de origem antrópica. Novamente surgem as amostras Lalb26 e Lalb24 como águas de mistura de água doce e água do mar.

Cloreto vs sulfato

Nos diagramas cloreto vs sulfato verifica-se uma boa correlação entre os dois iões (Figuras 50 e 51). Todas as amostras se aproximam da linha de mistura com a água do mar, sendo as amostras Palb10 e Palb14 as que mais se desviam deste comportamento, com uma maior entrada de sulfato do que de cloreto, sugerindo a existência de contaminação antrópica de sulfatos. Dos furos, Falb4 é o mais mineralizado, ao contrário das ribeiras com concentrações muito reduzidas de sulfato e cloreto.

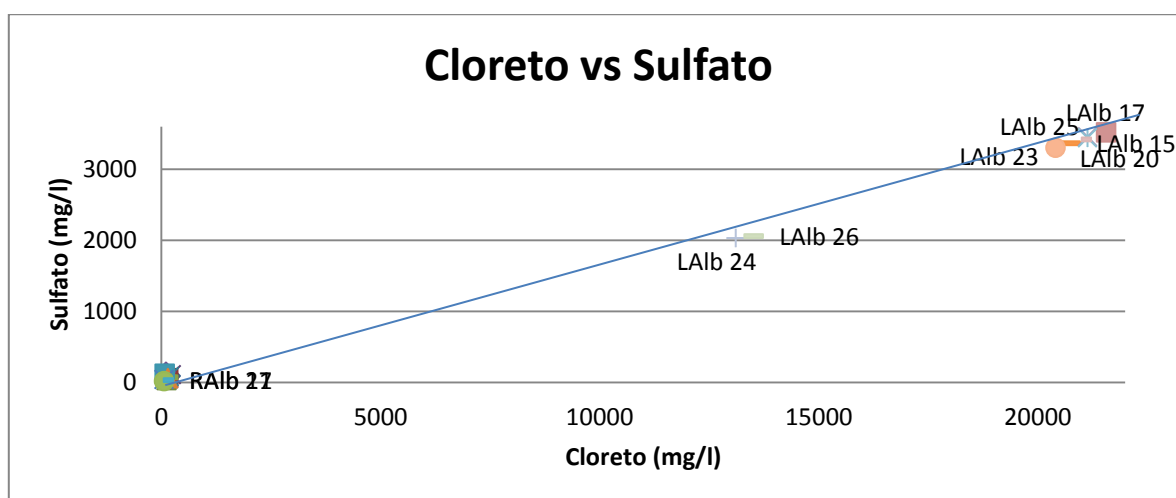


Figura 50 - Relação entre as concentrações de sulfato e cloreto das águas analisadas em condições de barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar.

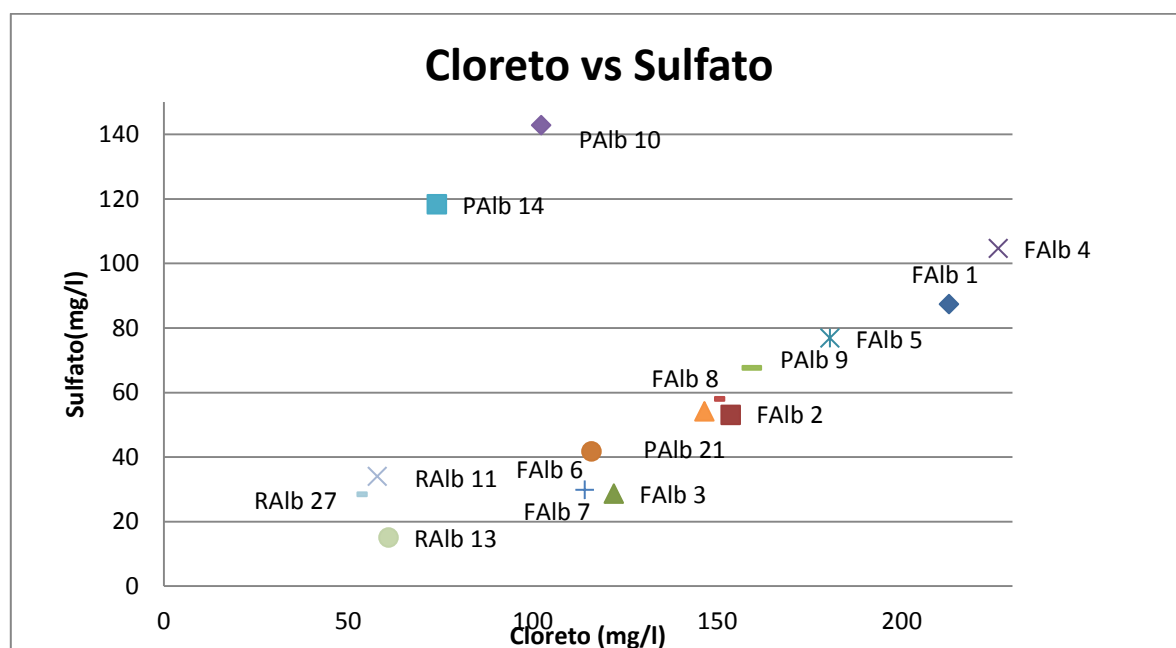


Figura 51 - Relação entre as concentrações de sulfato e cloreto das águas analisadas em poços furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).

Sulfato vs alcalinidade

A projecção das amostras em diagramas sulfato vs alcalinidade (Figuras 52 e 53) permite verificar que as águas da lagoa são as que possuem maior concentração de sulfato. Lalb24 e Lalb26 evidenciam-se novamente com características de águas de mistura. A análise dos pontos Palb14, Falb7, Falb4 e Falb1 sugere uma grande contribuição de águas subterrâneas neste local, uma vez que os grandes valores de alcalinidade se devem à dissolução de rochas no aquífero. As amostras Palb9, Falb5, Palb10, Palb14 e Falb4 reflectem a existência de contaminações antrópicas de sulfatos.

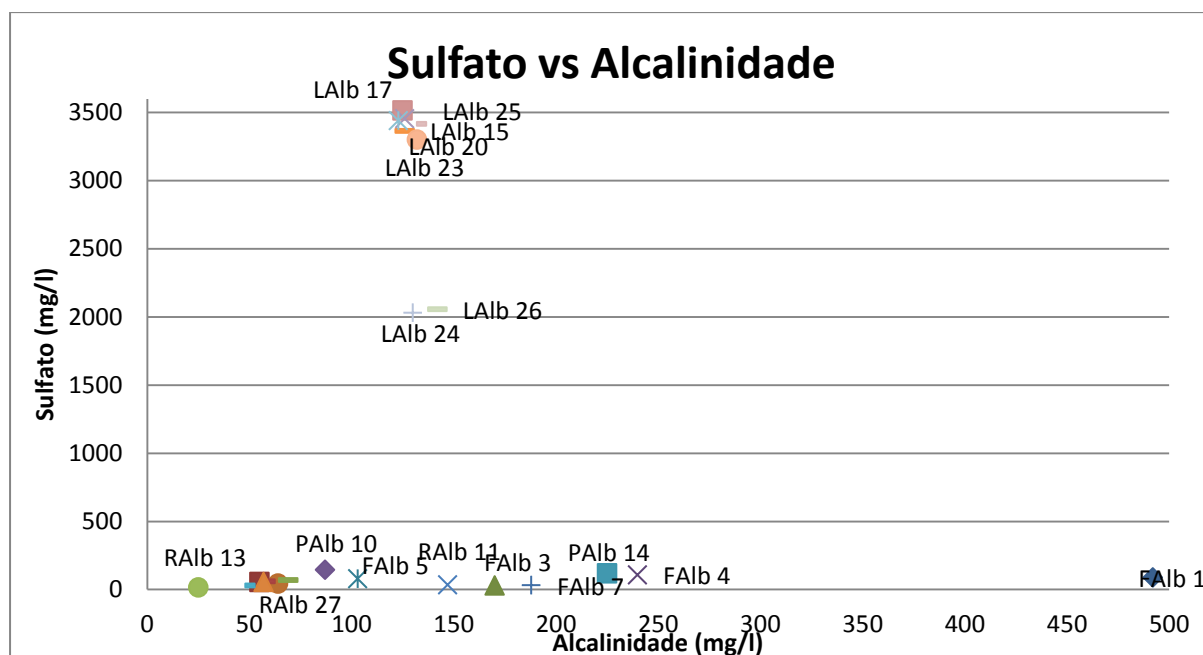


Figura 52 - Relação entre as concentrações de sulfato e alcalinidade das águas analisadas em condições de barra aberta (C1).

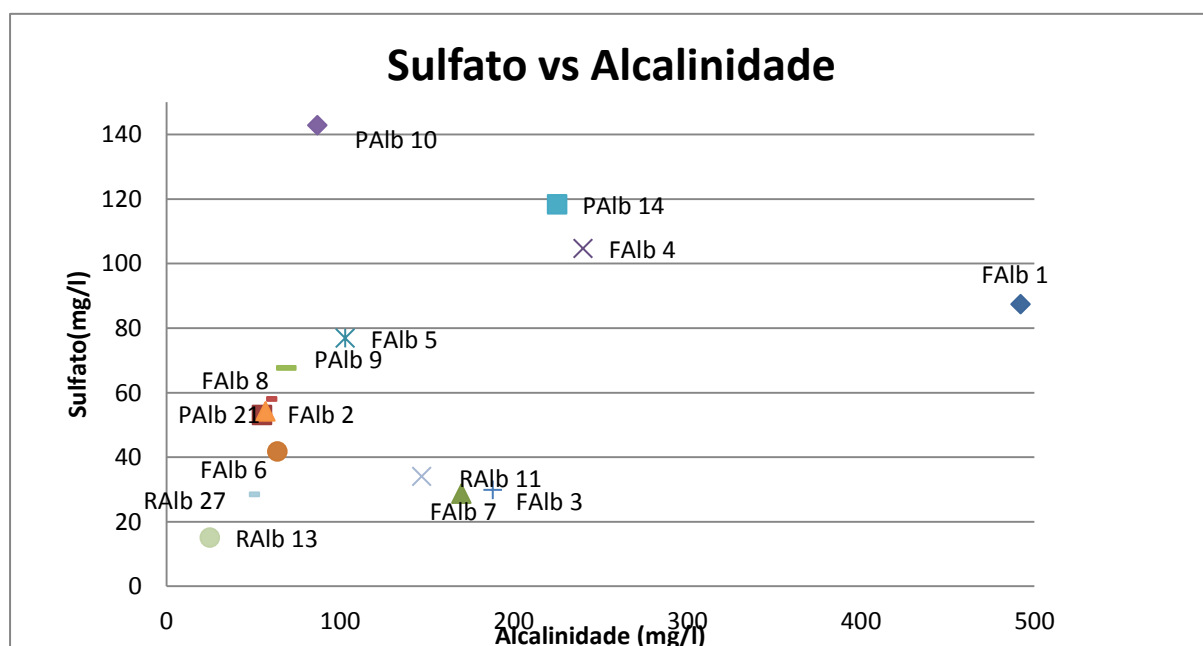


Figura 53 - Relação entre as concentrações de sulfato e alcalinidade das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1).

Nitrato vs sulfato

Através da análise dos diagramas nitrato vs sulfato (Figuras 54 e 55), verifica-se que Falb4, Falb8 e Pal9 correspondem às águas mais contaminadas por nitratos de origem antrópica. A maior concentração de sulfato nas amostras Falb1 e Palb14 é causada nitidamente pelo aumento de sais marinhos, sem relação directa com a quantidade de nitratos que entra no sistema.

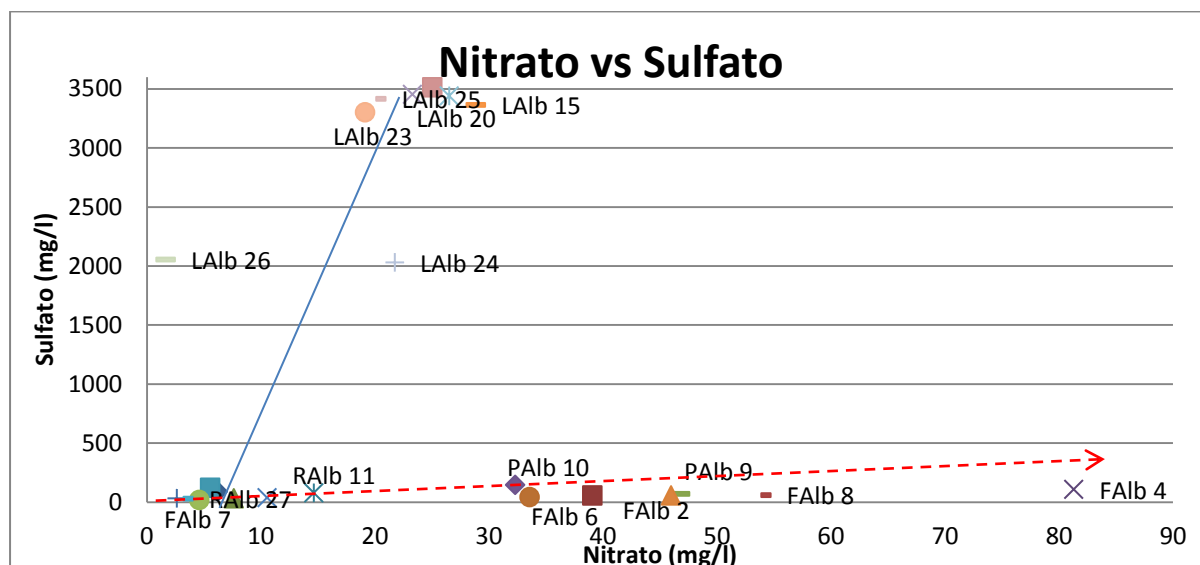


Figura 54 - Relação entre as concentrações de sulfato e nitrato das águas analisadas em condições de barra aberta (C1). A linha representa uma linha de mistura com a água do mar. A seta a tracejado representa o aumento de concentração de nitratos.

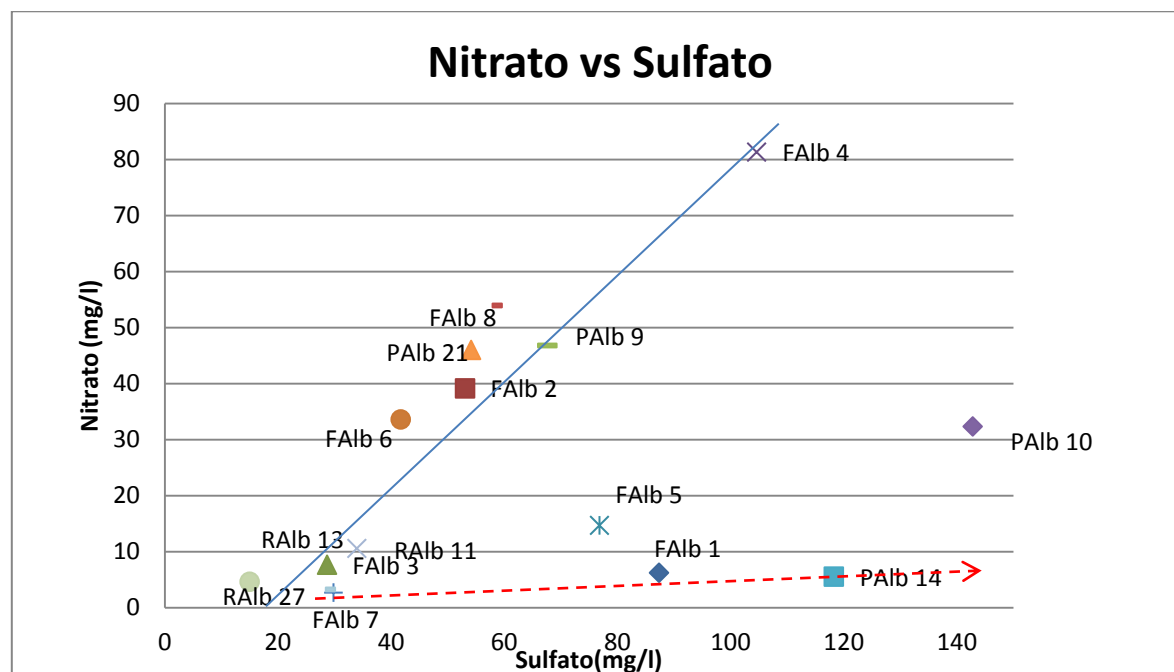


Figura 55 - Relação entre as concentrações de sulfato e nitrato das águas analisadas em poços, furos e ribeiras em condições de barra aberta (C1). A linha representa a direcção da variação da concentração de nitratos. A seta a tracejado representa o aumento da concentração de sulfato através de sais marinhos.

4.5.4.1. Campanha 2

A composição química das águas amostras na campanha 2 manteve as mesmas relações entre parâmetros, como se pode observar nas Figuras 56, 57 e 58, através da projecção dos valores da alcalinidade e das concentrações em sulfato, cloreto e nitrato.

A maior distinção entre as águas recolhidas na campanha 1 e as da campanha 2 é o grau de mineralização, que é menor, em todas as amostras da lagoa. Verifica-se a excepção da amostra da lagoa Lalb26, que, em barra fechada, evidencia uma maior mineralização, reforçando a hipótese de contaminação por uma água altamente salina ou devido a águas da lagoa cativas que, aquando da evaporação se verifica um aumento de sais.

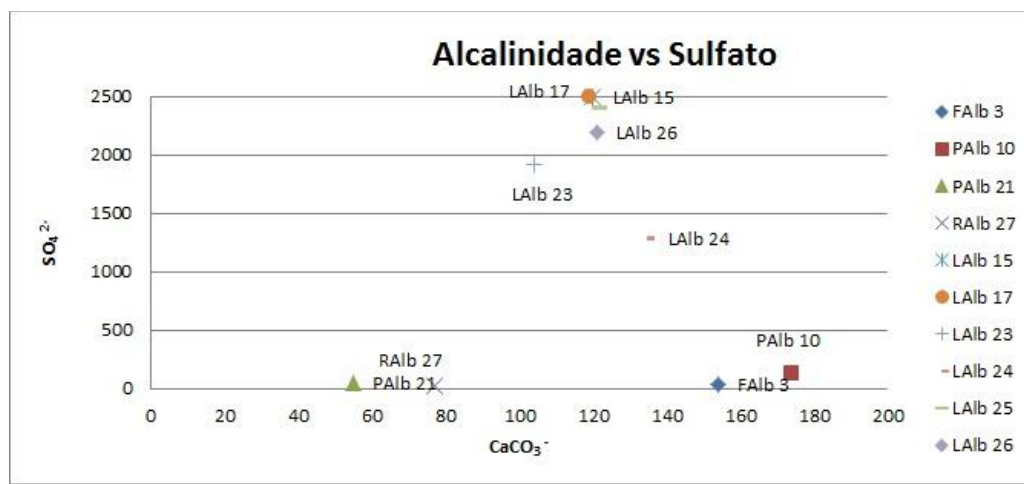


Figura 56 - Relação entre as concentrações de sulfato e alcalinidade das águas analisadas em condições de barra fechada (C2).

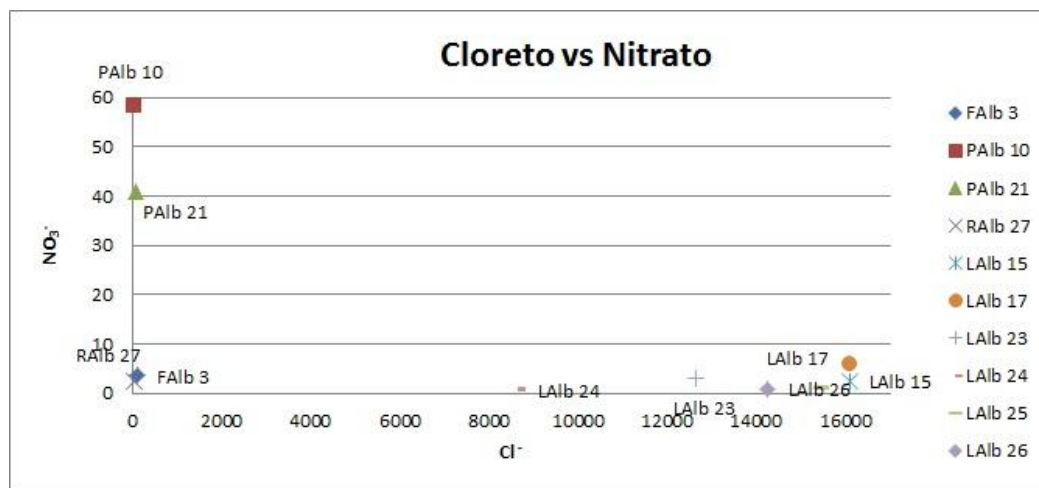


Figura 57 - Relação entre as concentrações de cloreto e nitrato das águas analisadas em condições de barra fechada (C2).

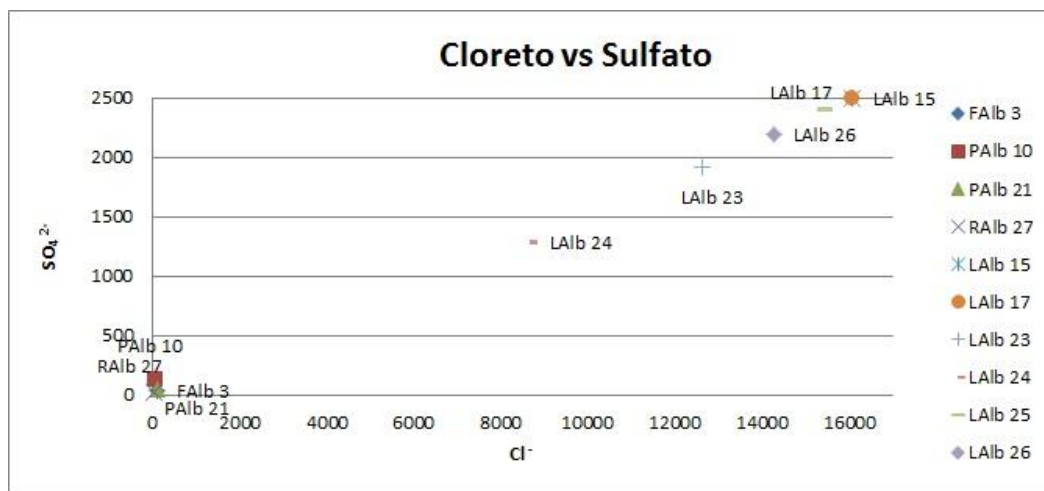


Figura 58 - Relação entre as concentrações de cloreto e sulfato das águas analisadas em condições de barra fechada (C2).

5. Geoquímica Isotópica

Os isótopos são átomos do mesmo elemento químico que possuem diferente número de massa mas igual número atômico, ocupando assim a mesma posição na tabela periódica.

A Geoquímica Isotópica constitui uma ferramenta importante nos estudos hidrogeológicos e na sua compreensão. É muito importante para a construção de um modelo hidrogeológico conceptual, fornecendo informações sobre a origem das águas, altitude das áreas de recarga, sistemas de fluxo subterrâneo, processos de mistura, “idade” das águas e Interação água-rocha.

Baseia-se no estudo das variações de concentração das diferentes espécies isotópicas em sistemas naturais. Essas variações são consequências de processos naturais, não controláveis pelo Homem e a sua interpretação faz-se por comparação com padrões absolutos ou com variações isotópicas regionais.

A razão isotópica é o quociente entre a espécie isotópica pesada (menos abundante) e a espécie isotópica leve:

$$R = \frac{\text{Espécie isotópica pesada}}{\text{Espécie isotópica leve}}$$

O Factor de Fraccionamento (α) traduz a diferença de comportamentos observada entre diferentes isótopos (mesma espécie $A \rightleftharpoons B$) antes ou após processos físicos e/ou químicos terem ocorrido. Evolução diferencial no tempo e/ou no espaço ($A \rightarrow B$).

$$\alpha_{B/A} = \frac{R_B}{R_A}$$

Fraccionamento isotópico consiste na variação nas razões da abundancia dos isótopos, originado por processos químicos, físicos ou bioquímicos, através dos quais há enriquecimento ou empobrecimento de determinado isótopo face a outro. Os resultados são expressos em notação relativamente a um padrão internacional como o V-SMOW e V-PBD.

$$\epsilon_{B/A} = \alpha_{B/A} - 1 = \frac{R_B}{R_A} - 1 \quad (\times 10^3 \text{ ‰})$$

O fraccionamento isotópico acontece, essencialmente, no decorrer dos processos de evaporação, condensação, transporte, precipitação e filtração da água na natureza e conduz a diferentes enriquecimentos isotópicos em função da temperatura, da altitude, da distância ao litoral e da estação do ano.

No caso da precipitação, à medida que a temperatura diminui os valores de ^2H e de ^{18}O tornam-se progressivamente mais empobrecidos. De Inverno a precipitação é empobrecida relativamente á ocorrida no Verão regiões localizadas a latitudes médias e elevadas. A

precipitação torna-se progressivamente mais empobrecida em ^{18}O e em ^2H com o aumento da distância ao litoral, devido à condensação preferencial.

O oxigénio é o elemento mais abundante no planeta. As águas marinhas e meteóricas constituem o único reservatório de hidrogénio e de parte do oxigénio do planeta tendo estes elementos um destino comum. São também os mesmos processos que fraccionam os seus isótopos estáveis pesados, ^2H e ^{18}O .

A partir da análise de pequenas variações na abundância isotópica do ^2H e do ^{18}O em amostras de água, podem obter-se informações muito valiosas sobre a história dos aquíferos subterrâneos e os seus movimentos, bem como o intercâmbio com águas superficiais, assim como sobre a formação de glaciares, o movimento das nuvens, a precipitação, o ciclo hidrológico da água e ainda sobre a variação global do clima.

Em 1961, Craig verificou que havia diferenças nos teores de ^{18}O relativamente ao ^{16}O nas águas provenientes de diferentes zonas do globo.

O fraccionamento cinético destes isótopos é devido à maior velocidade de difusão das moléculas mais leves.

A maior diferença foi detectada entre a água oriunda da região equatorial e a água originária dos pólos. O teor dos dois isótopos nestas águas é determinado pela extensão do fraccionamento durante os processos de evaporação e de condensação. O isótopo mais leve evapora mais rapidamente no Equador e quando esta água condensa e finalmente cai, na forma de chuva, a altitudes mais altas está já empobrecida no isótopo de oxigénio mais pesado.

A relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ nas águas naturais do globo segue uma relação linear previsível de acordo com a seguinte equação:

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$$

Esta relação é designada como Recta global das águas meteóricas ou linha de Craig.

Desvios a esta relação podem revelar perturbações no ciclo hidrológico. A principal causa de fraccionamento da água e dos seus isótopos está relacionada com a mudança de estado físico, entre as fases líquida e vapor, por evaporação e condensação. Simplificando: os isótopos mais pesados são mais dificilmente extraídos da fase líquida até à fase gasosa e, além disso, condensam mais facilmente. Por outro lado, os equilíbrios de fase são influenciados pela temperatura.

Por conseguinte, a variabilidade dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ das águas meteóricas está ligada com os ciclos de evaporação dos oceanos e com as condensações sucessivas que originam as precipitações. A composição isotópica da água oceânica, de -1 a 0,7 ‰, é próxima do padrão de referência Vienna-Standard Mean Ocean Water, V-SMOW, para o qual se estipulou valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ de zero ‰.

Provocado pela influência da temperatura, pode constatar-se um ‘efeito de latitude’ no fraccionamento: quanto maior a proximidade dos pólos, maior o empobrecimento das águas meteóricas em ^{18}O e em ^2H .

No ciclo hidrológico da água os processos típicos de evaporação e de condensação transmitem-lhe ‘impressões digitais’ isotópicas que permitem prever a composição isotópica da água de determinadas zonas do globo, para maiores altitudes as temperaturas decrescem pelo que a ‘marca’ isotópica da origem da água resulta mais negativa, *i.e.*, mais empobrecida em $\delta^{18}\text{O}$. Para latitudes mais elevadas, à medida que se caminha para os pólos, observa-se igualmente um decréscimo nos teores de ^{18}O da água, neste caso, devido ao decréscimo de insolação e ao abaixamento da temperatura.

Os desvios ao ‘efeito latitude’ são provocados pelo ‘efeito continental’. O ‘efeito continental’ diz respeito às massas de água que, ao deslocarem-se da superfície do mar em direcção ao continente, sofrem os efeitos da topografia e as características específicas do clima. O resultado é que as precipitações ao longo das cotas marítimas são enriquecidas nos isótopos mais pesados em relação às regiões continentais, mais frias (empobrecimento médio em $\delta^{18}\text{O}$ de aproximadamente -2,8 ‰ para cada 1000 Km de distância das cotas).

Uma outra contribuição geográfica para o fraccionamento, é o ‘efeito da altitude’. Uma vez no interior do continente, as massas de água empobrecem ainda mais em $\delta^{18}\text{O}$, aproximadamente -0,15 ‰ a -0,5 ‰ por cada aumento de 100 m de altitude.

A variação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e de $\delta^2\text{H}$ provocada pela mudança das estações não é de todo negligenciável. No período mais quente e seco, o aumento da temperatura conduz a um enriquecimento dos isótopos pesados, principalmente nas zonas continentais.

As águas subterrâneas têm uma composição isotópica semelhante à média anual das precipitações, dependem de factores geográficos (altitude, latitude, distância dos oceanos ou continentalidade) mas não de factores sazonais. O fraccionamento isotópico durante as transições de fase (vapor-líquido-sólido) é dependente da temperatura.

As variações isotópicas da precipitação são em geral integradas durante a infiltração. Em muitos casos a composição isotópica da água subterrânea é um reflexo do valor ponderado do conteúdo isotópico da precipitação.

As águas de precipitação submetidas a evaporação antes de infiltrarem sofrem trocas isotópicas, função de vários factores como a humidade relativa, a velocidade de evaporação e de difusão das espécies isotópicas, entre outros.

Na Figura 59, estão representados os processos que modificam a composição isotópica da água (D’Amore & Panichi, 1987 *in* Carvalho, 2000):

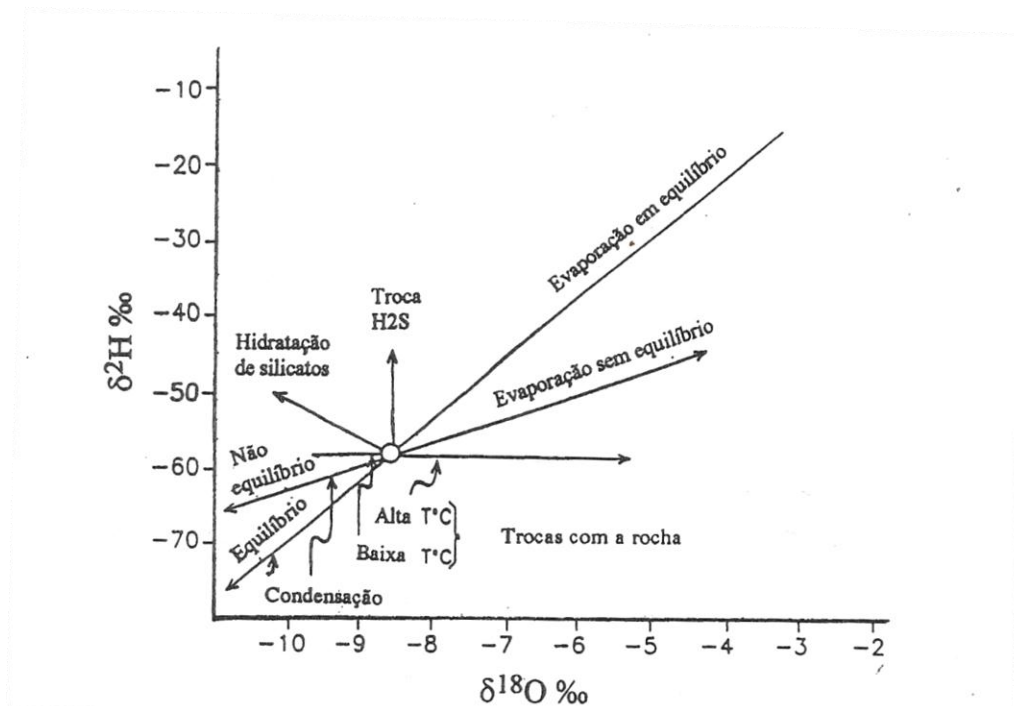


Figura 59 - Processos que modificam a composição isotópica da água (D'Amore & Panichi, 1987, in Carvalho, 2000).

Com base em resultados isotópicos obtidos (valores mensais) para as estações meteorológicas do Porto, Penhas Douradas, Portalegre, Faro, Bragança, Vila real e Beja (Base de dados da rede de amostragem das águas de precipitação de Portugal – Instituto tecnológico e nuclear, departamento de Química, 2004) e recorrendo ao método de regressão ortogonal determinou-se a recta das águas meteóricas para Portugal Continental (Gomes *et al.*, 2001, in Galego Fernandes, 2004):

$$\delta^2\text{H} = (6,83 \pm 0,09) \delta^{18}\text{O} + (4,86 \pm 4,31), n = 459 \text{ } r = 0,96$$

A relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ nas águas de determinado local estabelece igualmente uma correlação linear, de acordo com a equação:

$$\delta^2\text{H} = m \delta^{18}\text{O} + b$$

Desta forma, conseguem-se aferir as características hidrogeológicas de um local específico, utilizando igualmente a relação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$.

A intrusão marinha constitui uma quebra do equilíbrio água doce-água salgada. Acontece a mistura de águas com composição química e isotópica diferente.

Perante um mecanismo de intrusão marinha e/ou de mistura com salmoura, a água salobra resultante possui uma composição isotópica e química proporcional à percentagem de mistura de cada um dos extremos. Esta situação traduz-se num enriquecimento em ^2H e em ^{18}O relativamente à composição inicial, e a existência de uma correlação linear entre os valores ^2H com a salinidade.

Foram realizadas análises isotópicas das águas amostradas em condições de barra aberta (C1) em laboratório no ITN (Instituto Tecnológico e Nuclear), que permitiram verificar as quantidades de ^{18}O e ^2H de forma a serem obtidas informações acerca da hidrogeologia da área em estudo. Para tal, foi utilizado um espectrómetro de massa de razões isotópicas.

5.1. Resultados

Na Tabela 11 estão representados os dados obtidos nas análises isotópicas realizadas nas amostras de água correspondentes ao período de barra aberta (C1):

Tabela 11 - Resultados das análises isotópicas.

Amostras	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	$\delta^2\text{H}$ ‰
FAIb 1	-4,88	-27,4
FAIb 3	-4,83	-27,4
FAIb 5	-4,38	-24,6
FAIb 6	-4,74	-26
PAIb 9	-4,69	-25,7
PAIb 21	-4,61	-28
RAIb 11	-4,38	-23,9
RAIb 13	-4,31	-23,3
RAIb 27	-3,92	-22,2
LAIb 17	0,89	5,8
LAIb 24	-1,2	-5
LAIb 25	0,65	4,5

5.2. Discussão

A composição isotópica das águas foi representada num diagrama $\delta^{18}\text{O}$ versus $\delta^2\text{H}$, juntamente com a recta mundial das águas meteóricas e a recta meteórica de Portugal Continental (Figura 60).

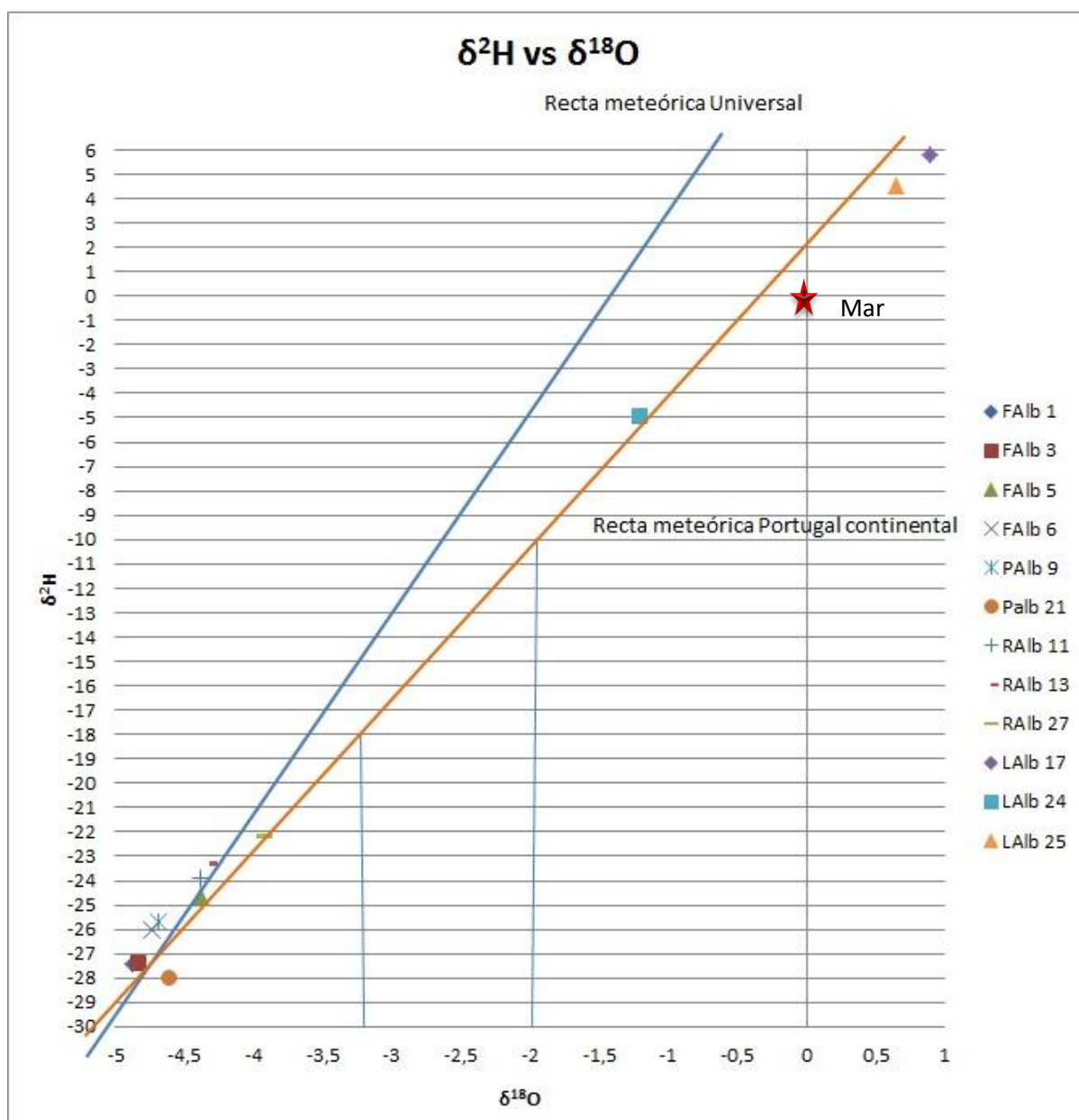


Figura 60 - Diagrama de dispersão dos teores de $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$.

Podemos observar que as águas analisadas seguem o comportamento da recta meteórica de Portugal continental. Existe clara diferenciação no empobrecimento em ^{18}O e ^2H das águas analisadas, em que as águas dos poços, furos e ribeiras são claramente mais empobrecidas nestes isótopos do que as da lagoa. As águas da lagoa são as mais enriquecidas em ^{18}O e ^2H , fazendo-se notar a maior interferência da água do mar junto ao litoral. Duas águas amostradas na lagoa (LAIb 17 e 25) com valores superiores a zero indicam presença de água do mar na lagoa sujeita a evaporação (D'Amore & Panichi, 1987 *in* Carvalho, 2000).

As análises dos gráficos isótopos vs Condutividade (Figuras 61 a 64), sem as amostras da lagoa, distinguem-se vários grupos de amostras com comportamentos distintos. Grupo I - amostras 1, 3 e 21 - não se observa correlação entre isótopos e CE, indicando que a salinização das águas não deverá ter origem na intrusão salina. Grupo II - amostras 5, 6, 9 e 27 - apresenta correlação positiva entre isótopos e CE, sugerindo que fenómenos de

intrusão salina são os responsáveis pela salinidade das águas. Grupo III – 11 e 13 – verificam-se fenómenos de evaporação em relação à água subterrânea.

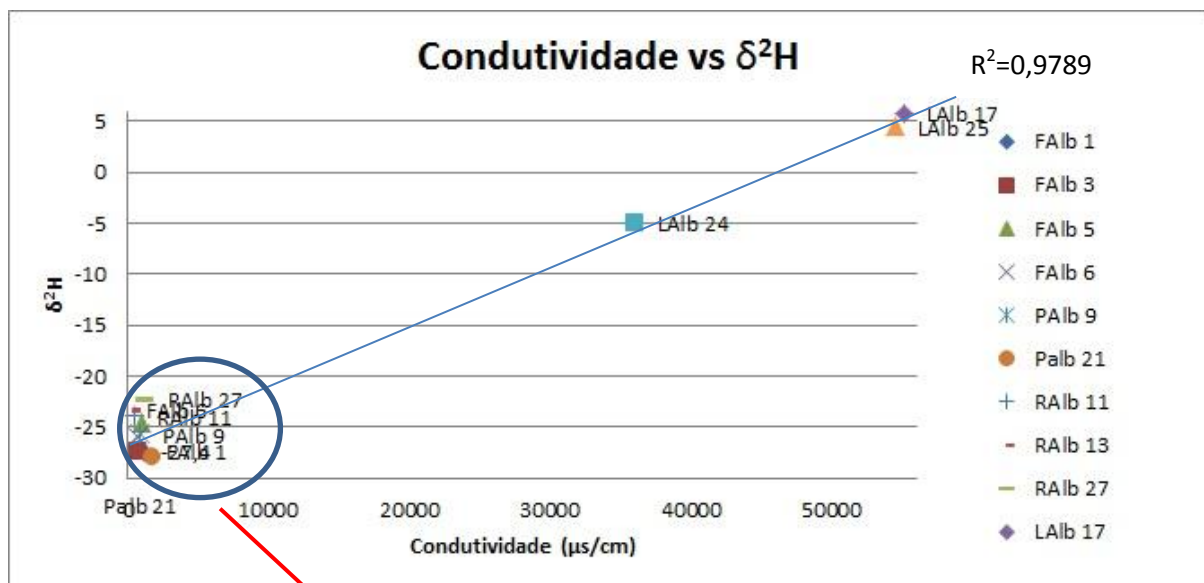


Figura 61 - Variação de $\delta^2\text{H}$ com a condutividade eléctrica.

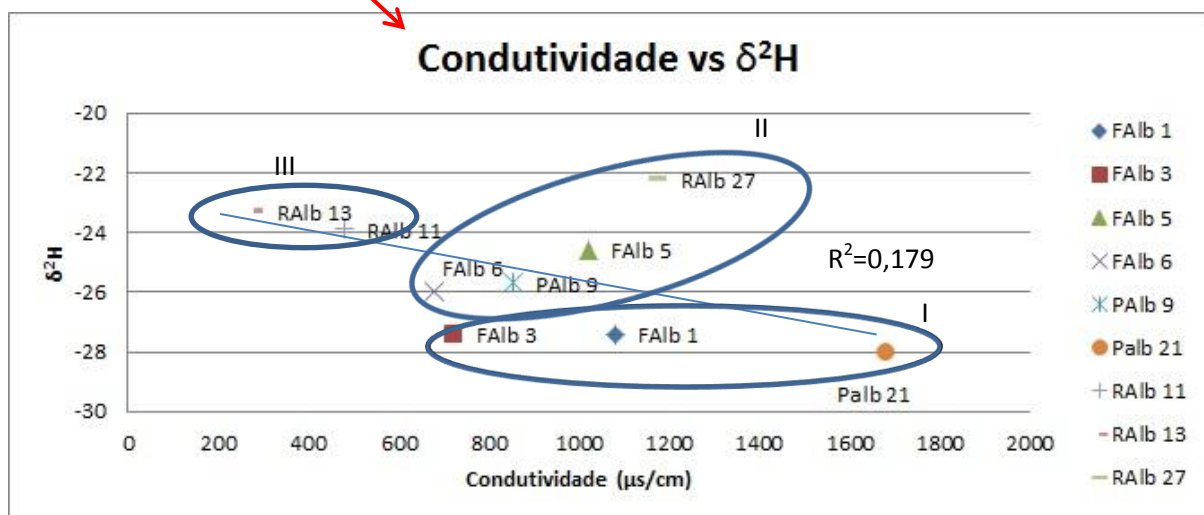


Figura 62 - Variação de $\delta^2\text{H}$ com a condutividade eléctrica, nas águas amostradas nos furos, poços e ribeiras.

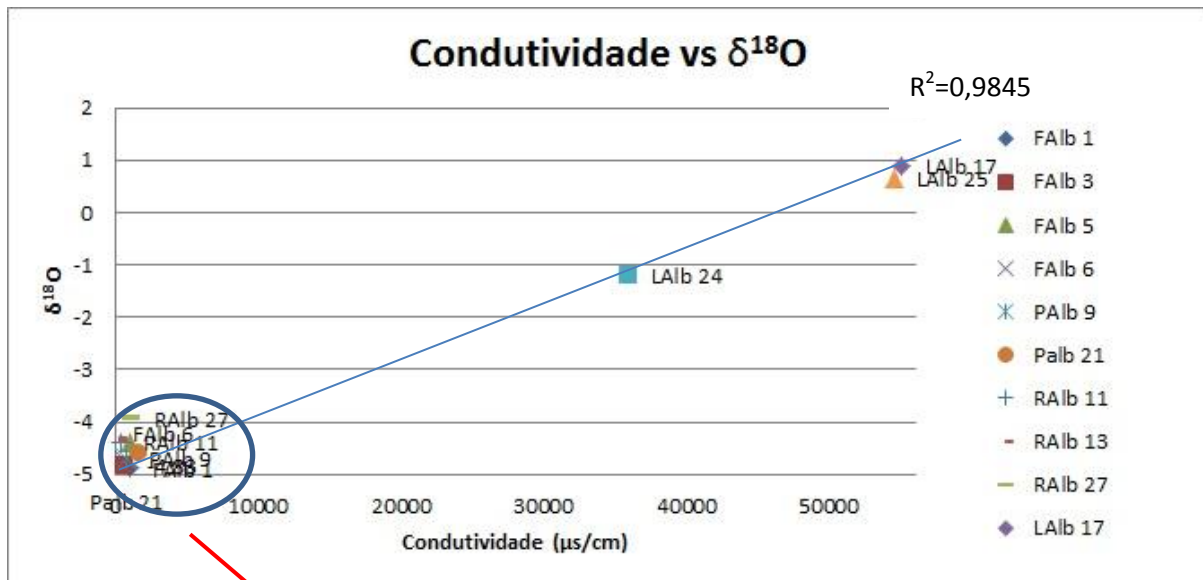


Figura 63 - Variação de $\delta^{18}\text{O}$ com a condutividade eléctrica.

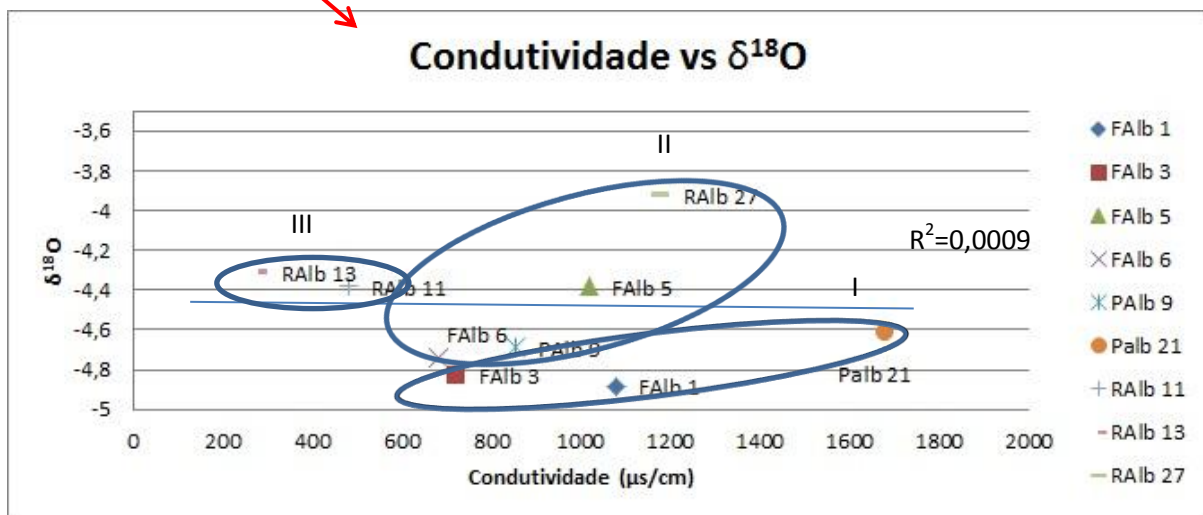


Figura 64 - Variação de $\delta^{18}\text{O}$ com a condutividade eléctrica das amostras analisadas em furos, poços e ribeiras.

Os diferentes comportamentos referidos anteriormente, são observados na distribuição espacial dos valores isotópicos (Figuras 65 e 66). Amostras do interior da lagoa com valores positivos resultam da mistura da água da lagoa com água do mar sujeita a evaporação. As águas das ribeiras representam a água superficial ($\delta^{18}\text{O} \sim -4.3$), mais enriquecida em isótopos de ^{18}O e ^2H , do que as águas subterrâneas (amostradas em poços e furos com $\delta^{18}\text{O} \sim -4.8$). Dois furos que distam entre si cinco metros têm valores isotópicos distintos, provavelmente devido a diferentes profundidades de captação e por consequência exploração de unidades aquíferas distintas. Notando-se que o furo com valor mais enriquecido ($\delta^{18}\text{O} = -4,38$) ser semelhante às amostras de água superficial.

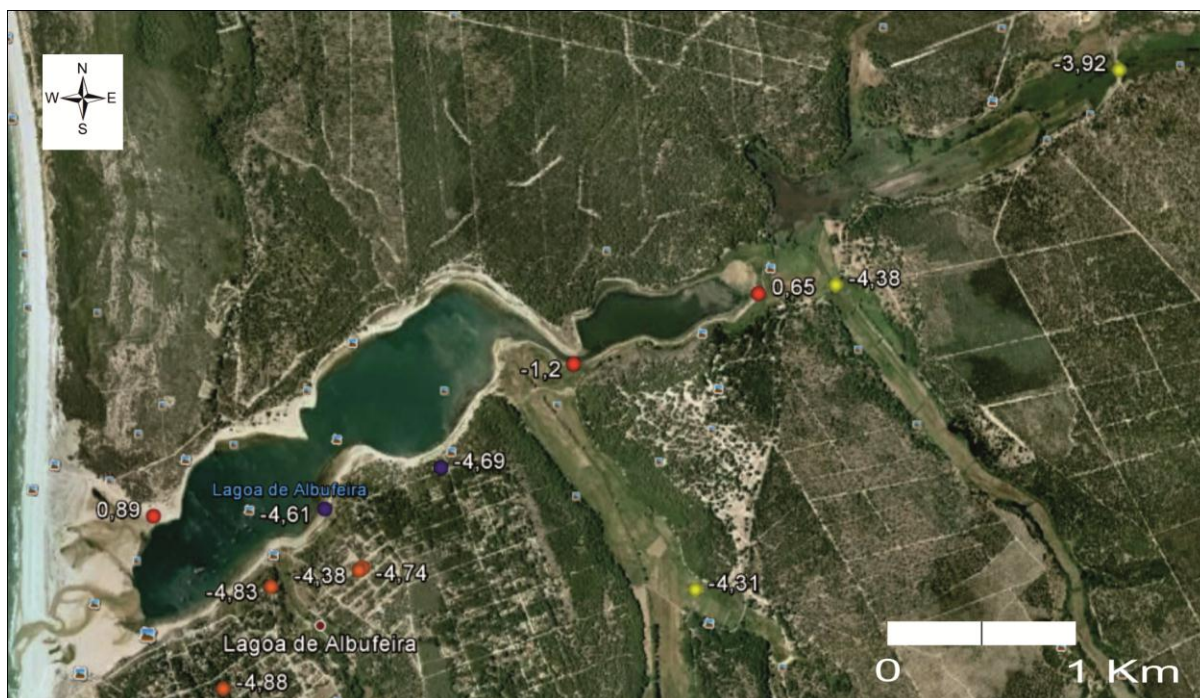


Figura 65 - Distribuição espacial dos teores de $\delta^{18}\text{O}$. Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.

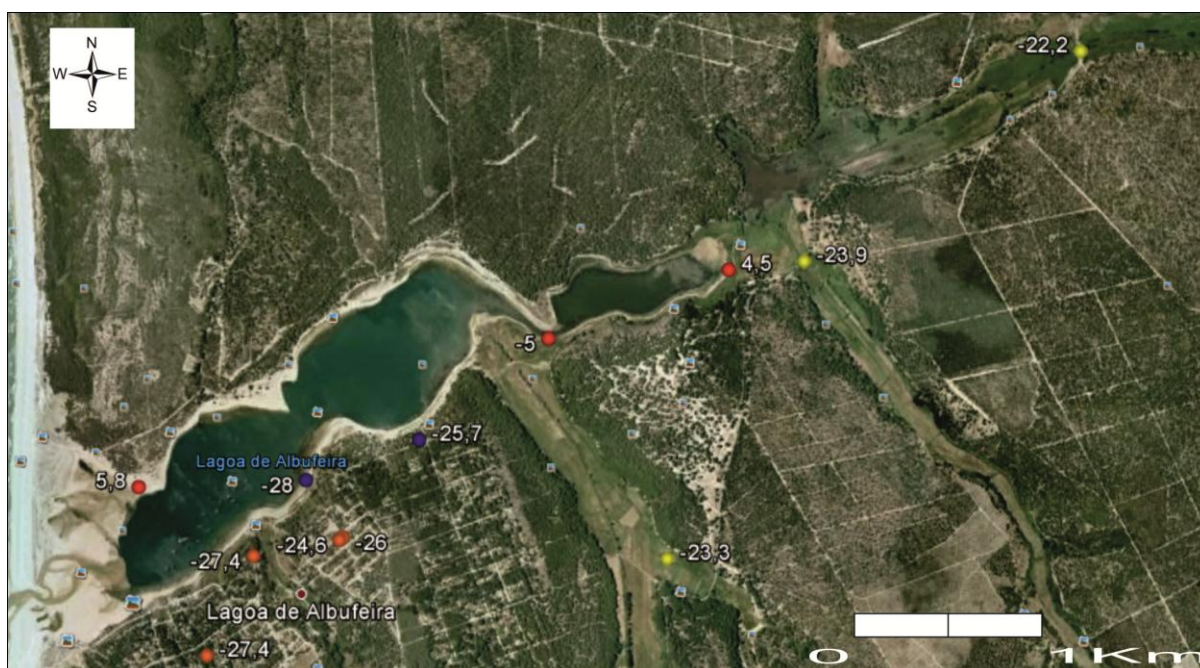


Figura 66 - Distribuição espacial dos teores de $\delta^2\text{H}$. Com a cor azul estão representados os poços, a laranja os furos, a vermelho as amostras da lagoa e a amarelo as ribeiras.

6. Níveis piezométricos

O conhecimento da interação da água subterrânea dos aquíferos captados junto à lagoa e a água da lagoa exige a identificação dos níveis piezométricos da zona e o sentido de fluxo subterrâneo.

Com o objectivo de se definir a superfície piezométrica, o sentido do fluxo e o respectivo gradiente nos aquíferos ao redor da lagoa, foram realizadas medições do nível hidrostático em poços (Tabela 12), utilizando-se uma sonda portátil.

A medição dos níveis foi muito dificultada na campanha 2 por não ter sido possível, nessa altura, o acesso às captações objecto de estudo na campanha 1 (ausências dos proprietários).

Para a obtenção de registos do nível piezométrico contínuos foi colocado um transdutor de pressão no poço Palb21. Estando submerso, o transdutor mede a pressão atmosférica mais a pressão da coluna de água acima dele. Quando o nível freático varia a pressão registada pelo transdutor também varia, funcionando este como medidor automático do nível de água, tendo sido programado para registá-lo em intervalos de 10 em 10 minutos. Infelizmente não foi possível obter os registos do transdutor por ter sido roubado do interior do poço onde foi instalado.

6.1. Resultados

Na tabela 12 são apresentadas as cotas dos poços (ao terreno) e os níveis piezométricos registados em barra aberta (C1) e barra fechada (C2):

Tabela 12 - Níveis piezométricos dos poços

Poço	Cota do poço (m)	N.P. Barra aberta (C1)	N.P. Barra fechada (C2)
P1	22	10,65 m	-
P2	16	4,83 m	-
P4	24	7,45 m	-
P5	23	17,18 m	-
P9	8	1,87 m	-
P10	12	7,25 m	4,07
P14	5	2,61 m	-
P21	2	0,1 m	0 m

6.2. Discussão

O nível piezométrico mais elevado foi registado no poço P5, com um valor de 17,18m, afastando-se muito dos níveis medidos nos poços ao redor. Isto pode significar que o poço P5 tem uma profundidade maior e que poderá estar a captar um aquífero diferente, eventualmente repuxante, i.é., confinado ou semi-confinado.

Com o objectivo de se definir o sentido do fluxo subterrâneo e o respectivo gradiente, foram desenhadas as linhas equipotenciais para o lado sul da lagoa com base na medição dos

níveis hidrostáticos dos poços (Figura 67). Observa-se que o fluxo subterrâneo tem sentido para NE, em direcção à lagoa.

A diferença do nível hidrostático entre a campanha 1 (barra aberta) e a 2 (barra fechada) pode ser observada no poço P10, onde se verificou um rebaixamento do nível hidrostático de cerca de três metros, da primeira para a segunda. Isto poderá estar relacionado com o facto de o inverno de 2011/2012 ter sido muito seco e, à baixa taxa de recarga dos aquíferos se pode ter juntado o aumento das extracções.

Considerando o espaçamento das linhas equipotenciais, na campanha 1, a superfície piezométrica do aquífero superior possui um gradiente na ordem de 1,2%.



Figura 67 - Distribuição espacial dos níveis piezométricos dos poços em condições de barra aberta (C1). As linhas correspondem às piezolinas dos 7 m e dos 10m.

De condições de barra aberta para barra fechada verifica-se uma diminuição do nível freático, através dos pois poços em que foi possível realizar uma comparação. Uma vez que na lagoa, em condições típicas, em barra fechada o nível sobe, esta informação vem reforçar que a água subterrânea tem maior influência na lagoa e não o inverso.

7. Avaliação da qualidade da água para consumo humano e rega

No presente trabalho é feita uma avaliação da qualidade das águas para consumo humano e de rega no local em estudo.

O decreto de lei nº 236/98 estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos (artigo 1º), estando este decreto em vigor excepto na questão das águas destinadas a consumo humano.

O decreto de lei nº 206/2007 manteve os aspectos fundamentais do anterior diploma em relação às águas para consumo humano, no entanto houve alteração, entre outras situações, da lista dos parâmetros a analisar, bem como alguns dos seus valores paramétricos.

Os parâmetros de qualidade para a água de consumo humano estudados ao longo do presente trabalho nos pontos de amostragem correspondentes a poços e furos, bem como os seus valores paramétricos encontram-se na Tabela 13:

Tabela 13 - Valores paramétricos para a avaliação da qualidade da água para consumo humano, com base do Decreto de Lei nº 206/2007.

Parâmetros	Expansão dos resultados	Valores paramétricos
pH	Escala de Sorensen	Entre 6,5 e 9
Dureza total	mg/l CaCO_3	-
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C	2500
Cloretos	mg/l Cl	250
Sulfatos	mg/l SO_4	250
Cálcio	mg/l Ca	-
Magnésio	mg/l Mg	-
Sódio	mg/l Na	200
Nitratos	mg/l NO_3	50
Nitritos	mg/l NO_2	0,5

Verifica-se que os valores dos parâmetros químicos de qualidade analisados no presente trabalho para a água de consumo humano nas duas campanhas no caso das águas dos poços e furos obedecem à legislação segundo o decreto de lei nº 206/2007, à excepção de alguns valores de pH e de Nitratos.

Na campanha 1 (C1 barra aberta), verifica-se que as amostras dos furos Falb2, Falb6, Falb8 e do poço Palb21 têm um pH inferior a 6,5. Na campanha 2 (C2 barra aberta) todos os valores de pH se encontram dentro da legislação.

Em relação aos nitratos, na campanha 1 (C1 barra aberta) os valores dos nitratos excedem o valor paramétrico nas amostras Falb4 (81,31mg/l) e Falb8 (53,9mg/l). Na campanha 2 (C2 barra fechada) o valor paramétrico dos nitratos é excedido na amostra referente ao poço Palb10 (58 mg/l).

Para a avaliação da qualidade das águas de rega foram construídos dois diagrama SAR (Figuras 68 e 69), um para cada uma das campanhas, para as amostras estudadas dos poços,

furos e ribeiras. Verifica-se quem em qualquer das campanhas as amostras de água analisadas projectam-se nos campos C2-S1 e C3-S1.

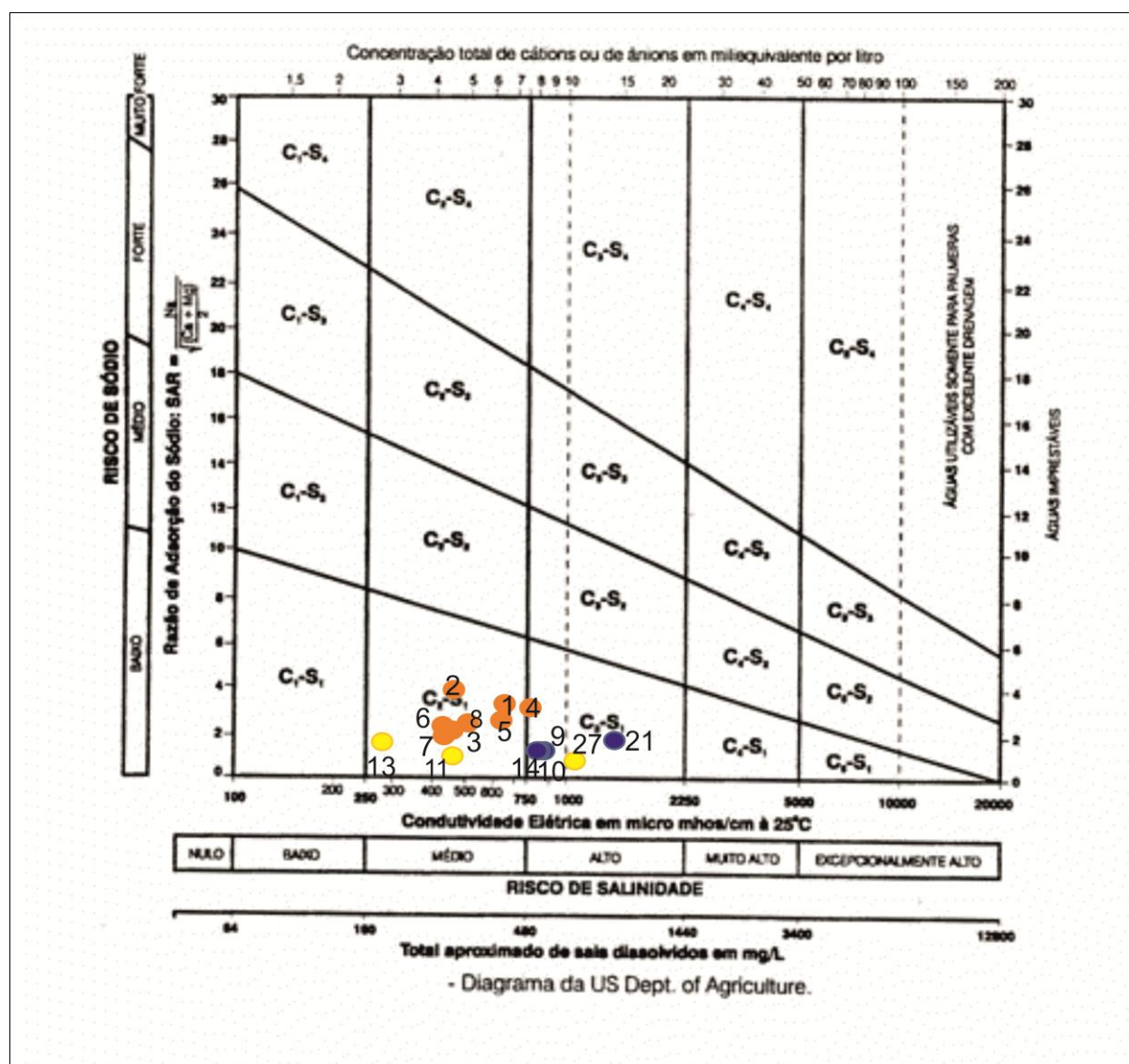


Figura 68 - Diagrama SAR para as ribeiras, poços e furos amostrados em condições de barra aberta (C1).

O diagrama SAR construído para a campanha 1 coloca as amostras estudadas enquadrando-as nos campos C2-S1 e C3-S1.

Verifica-se que todos os furos se situam no campo C2-S1, com excepção de Falb4 que se projecta em C3-S1 junto à linha de separação deste com o campo C2-S1.

Em relação aos poços, todos se situam no campo C3-S1. No caso das ribeiras, Ralb13 e Ralb11 projectam-se em C2-S1, ao contrário de Ralb27 que se enquadra em C3-S1.

Na Tabela 14, está representada a qualidade da água para agricultura, de todas as amostras analisadas em ambas as campanhas:

Tabela 14 - Qualidade das águas amostradas para utilização agrícola.

Amostras	C1	C2	Qualidade da água para agricultura
C2-S1	Falb1 Falb2 Falb3 Falb5 Falb6 Falb7 Falb8 Ralb11 Ralb13	Ralb27	<p>Águas com níveis baixos de Sódio. Podem ser utilizadas na maioria dos solos com escassas possibilidades de alcançar elevadas concentrações de sódio intercambiável. As culturas sensíveis, como as de algumas frutas, podem acumular quantidade prejudiciais de sódio (S1).</p> <p>Águas de salinidade média, podem utilizar-se moderadamente. Apresentam 160 a 480 mg/l de sólidos dissolvidos. Sem excessivo controlo da salinidade podem-se cultivar, na maioria dos casos, plantas moderadamente tolerantes aos sais (C2).</p>
C3-S1	Falb4 Palb9 Palb10 Palb14 Palb21 Ralb27	Falb3 Palb10 Palb21	<p>Águas com níveis baixos de Sódio. Podem ser utilizadas na maioria dos solos com escassas possibilidades de alcançar elevadas concentrações de sódio intercambiável. As culturas sensíveis, como as de determinadas frutas, podem acumular quantidades prejudiciais de sódio (S1).</p> <p>Águas altamente salinas. Apresentam 480 a 1440mg/l de sólidos dissolvidos. Não podem usar-se em solos de drenagem deficiente. É necessária uma selecção de plantas muito tolerantes aos sais, realizar um controlo da salinidade do solo e confirmar se há drenagem suficiente (C3).</p>

8. Conclusões finais

O estudo da interacção água superficial/água subterrânea do sistema hidrológico associado à lagoa de Albufeira e contribuição para a avaliação ambiental foi realizado após inventariação de pontos de água e selecção de locais de amostragem. Foram recolhidas amostras de águas em poços, furos, ribeiras e na lagoa. Uma vez que a norte da lagoa não existem poços nem furos, a amostragem destes incidiu na parte sul da lagoa, junto às habitações. Foi igualmente efectuada a recolha de amostras no interior da lagoa, em pontos de confluência de linhas de água superficial com esta, de modo a estudar a interacção de todo o sistema associado à lagoa. A medição de níveis piezométricos em poços foi necessária para o estudo do fluxo de água subterrânea e variação do nível hidrostático.

A lagoa de Albufeira possui uma barreira arenosa que, antes do período do Verão é aberta mecanicamente, voltando a fechar naturalmente, em condições típicas, entre Setembro e Dezembro. Este estudo incide na dualidade barra aberta/barra fechada, de forma a aferir a importância destes processos em todo o sistema e da forma como afecta toda a interacção água superficial/água subterrânea associada à lagoa.

Os trabalhos de campo, permitiram a inventariação de 27 pontos de amostragem: 12 de captações de água subterrânea (8 furos e 4 poços), 5 correspondentes a ribeiras e 8 na lagoa, em condições de barra aberta (C1). Dos 27 pontos de amostragem 23 foram objecto de análises físico-químicas e 12 delas foram sujeitas as análises isotópicas ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $2\text{H}/1\text{H}$). Em condições de barra aberta foram também medidos os níveis piezométricos de 8 poços.

A campanha 2 (C2) ocorreu no período de Inverno, pelo que dificultou bastante os trabalhos de campo, uma vez que a maioria das casas da lagoa, são apenas habitadas em período de férias de Verão e ao fim de semana. Desta forma, em condições de barra fechada, foram estudados apenas 12 pontos de amostragem: 1 furo (Falb3), 2 poços (Palb10 e Palb21), 3 ribeiras e 6 pontos de amostragem na lagoa, dos quais 10 foram objecto de análises físico-químicas. Foram medidos os níveis de piezométricos de 2 poços (Palb10 e Palb21).

Os pontos de amostragem Ralb12 e Ralb19, correspondem a ribeiras que, visto tratar-se de um ano atípico, com reduzida precipitação, se encontraram secas em ambas as campanhas.

Em condições de barra aberta (C1), as águas recolhidas nos furos apresentam fácies hidrogeoquímicas cloretadas: 3 águas são cloretadas sódico-cálcicas, 1 cloretada cálcica (Falb2), 1 cloretada calco-magnésica (Falb6), 1 cloretada sódica (Falb8) e 1 cloretada-bicarbonatada calco-magnésica (Falb3). O furo Falb7 tem fácies bicarbonatada sódica. A fácies das águas recolhidas nos poços varia entre sulfatada-cloretada sódica (Palb10), bicarbonatada sódico-cálcica (Palb14) e sulfatada calco-sódica (Palb21). Nas ribeiras, as fácies hidrogeoquímicas representadas são: bicarbonatada sódica (Ralb11), cloretada cálcica (Ralb13) e cloretada-bicarbonatada sódica (Ralb27). Todas as amostras de águas analisadas na lagoa têm fácies cloretada-cálcica.

Em condições de barra fechada (C2), o furo Falb3 tem fácies cloretada-bicarbonatada sódica. O poço Palb10 apresenta fácies bicarbonatada sódica e o Palb21 cloretada bicarbonatada-sódica. A ribeira Ralb27 é sulfatada sódica. Nas amostras dos furos e poços, de barra aberta para barra fechada, houve um claro aumento de bicarbonato em todas as

amostras, reflectindo a maior dissolução de rochas carbonatadas nos aquíferos. Todas as águas analisadas na lagoa aquando da barra fechada (C2) têm fácies cloretada cálcica, tal como na campanha de verão. No entanto, verifica-se que existe de C1 para C2 uma diminuição da concentração de cloretos e de cálcio, uma vez que a água da lagoa tem mais influência de água subterrânea e superficial nesta altura.

O estudo da composição isotópica em $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ mostra que as águas analisadas seguem o comportamento da recta meteórica de Portugal continental. As águas dos poços, furos e ribeiras são claramente mais empobrecidas nestes isótopos do que as da lagoa. As águas da lagoa são as mais enriquecidas em ^{18}O e ^2H , fazendo-se notar a maior interferência da água do mar junto ao litoral. Amostras do interior da lagoa com valores positivos resultam da mistura da água da lagoa com água do mar sujeita a evaporação. Duas águas amostradas na lagoa (Lalb 17 e 25) com valores superiores a zero indicam presença de água do mar na lagoa sujeita a evaporação.

As análises dos gráficos isótopos vs condutividade eléctrica sugerem que a salinidade das amostras Falb5, Falb6, Palb9 e Ralb27 que fenómenos de intrusão salina são os responsáveis pela salinidade destas águas. As ribeiras Ralb11 e Ralb13 sugerem a existência de evaporação em relação à água subterrânea.

Em período de barra aberta (C1), verifica-se que as águas da lagoa têm uma composição semelhante à da água do mar, como seria de esperar, todavia, os pontos de amostragem Lalb24 e Lalb26, localizados junto de locais de confluência de ribeiras, correspondem a águas de mistura entre água doce e água do mar.

A mineralização nas ribeiras é menor e percebe-se um aumento de mineralização dos furos em relação aos poços, sendo o furo Falb4 o mais mineralizado e por sua vez, também o mais contaminado por nitratos de origem antrópica.

Em barra fechada (C2), o poço Palb10 denuncia concentrações de nitratos muito altas, devido a contaminação antrópica, possivelmente associada à existência de fossas sépticas junto do local. A amostra da lagoa Lalb26, no Inverno (em período de barra fechada), tem uma mineralização muito elevada que sugere tratar-se de uma água do mar cativa cuja evaporação provoca um aumento de sais marinhos, ou de uma água contaminada por uma água bastante mais salina do que a restante água da lagoa.

O aumento de mineralização da ribeira Ralb27 em período de barra fechada (C2) reflecte a dissolução das rochas carbonatadas. Como se tratou de um Inverno atípico, com escassa precipitação isto faz com que os sais se concentrem nas águas desta ribeira.

As medições dos níveis hidrostáticos realizadas nos poços e a construção de linhas equipotenciais na margem sul da lagoa, permite verificar que, o fluxo de água subterrânea ocorre, no sentido NE, em direcção à lagoa. As medições efectuadas em Palb21 e Palb10, em período de barra fechada houve um rebaixamento do nível hidrostático de 3 metros.

A análise dos parâmetros químicos e de fluxo permitem inferir que os fluxos de água doce, subterrânea e superficial, contribuem para as variações da composição da água da lagoa e que o transporte de contaminantes é feito, essencialmente, através da água subterrânea

que drena o aquífero presente junto à margem sul da lagoa, sendo o gradiente de drenagem de 1,2%.

Provavelmente na margem norte da lagoa verifica-se o mesmo fluxo de drenagem, o que justificaria a composição da lagoa Lalb23.

Não foi possível verificar influências da lagoa no interior do aquífero, devido à ausência de dados de níveis piezométricos suficientes, em período de barra aberta e de barra fechada, bem como as variações do nível da lagoa.

As amostras de água subterrânea Falb2, Falb4, Falb6, Falb8 e Palb21 não obedecem na campanha 1, aos valores paramétricos indicados no Decreto de Lei nº 206/2007 para a qualidade das águas para consumo humano (Tabela 13). As amostras Falb2, Falb6 e Palb21 têm valores de pH inferiores a 6,5, o furo Falb4 ultrapassa os valores paramétricos para os nitratos e o furo Falb8 não obedece em ambos os parâmetros. Na campanha 2, em barra fechada, os valores paramétricos dos nitratos não obedecem ao Decreto de lei 206/2007 para o poço Palb10.

Na avaliação da qualidade das águas estudadas para a sua utilização em rega verifica-se, através dos diagramas SAR construídos, que todas se enquadram nos campos C2-S1 e C3-S1 em ambas as campanhas. Todas as águas podem ser utilizadas para rega. No entanto, as águas classificadas como C3-S1, uma vez que são águas altamente salinas só podem ser utilizadas em plantações com elevada tolerância aos sais, tais como Falb4, Palb9, Palb10, Palb14, Palb21 e Ralb27 (barra aberta), e Falb3, Palb10 e Palb21 (barra fechada).

Referências

- Albuquerque, J.P.M. (1964) – Esquema climático da Península de Setúbal. Separata da Revista Agricultura, nº21.
- Andrade, C. (1989) – Guia de excursões - Litoral da Península de Setúbal *in* Ambientes Geológicos litorais. VI Simpósio de Geologia Aplicada e do Ambiente.
- Azeredo, A.C.; Cabral, M.C. & Marques, F. (1980) – Esboço geomorfológico da zona litoral compreendida entre a Lagoa de Albufeira e o Cabo Espichel. Relatório. Faculdade de Ciências de Lisboa.
- Azeredo, A.C.; Carvalho, A.M.G. (1986) – Novos elementos sobre o Paleogénico carbonatado dos arredores de Lisboa.
- Azevedo, M.T.; Cardoso, J.L.; Penalva, C.; Zbyszewsky, G. (1979 b) – Contribuição para o conhecimento das indústrias líticas mais antigas do território português: as jazidas com “Pebble Culture” da Formação de Belverde – Península de Setúbal (Vilafranquiano médio). Setúbal Arqueológica, vol. V, Museu de Arqueologia e Etnografia de Setúbal, Assembleia Distrital de Setúbal.
- Azevedo, M.T. (1982) – O sinclinal de Albufeira. Evolução pós-miocénica e reconstituição paleogeográfica. Dissertação de Doutoramento em Geologia, apresentada à Faculdade de Ciências de Lisboa.
- Cabral, J.; Dias, R.P. & Brum, A. (1984) – Estudo de falhas afectando formações plio-quaternárias na zona da Fonte da Telha (Península de Setúbal). *Comum. Serv. Geol. Portugal*.
- Carvalho, M. R. (2000) – Hidrogeologia do Maciço Vulcânico de Água de Pau/Fogo (S. Miguel, Açores). Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Castel-Branco, F. (1957) – Alguns aspectos da evolução do litoral português. *Bol. da Sociedade de Geografia de Lisboa*, 75ª série.
- Castel-Branco, F. (1980) – Algumas notas sobre o mapa de Álvaro Seco. *Bol. Da Soc. Geografia de Lisboa*, série 98.
- Choffat, P. (1908) – Essai sur la tectonique de la chaîne de l'Arrabida. *Comission du Service Géologique du Portugal*, Lisboa.
- Costa, J. B. (1991) – caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Craig, H. (1961) – Isotopic variation in meteoric waters. *Science*, 133.
- Custódio, E. e Llamas, M. R. (1976) – Hidrologia subterrânea. Editorial Omega. Barcelona, Vol. 1 e 2.

- Custódio, E. e Llamas M. R. (1983) – Hidrologia subterrânea. Editorial Omega, Barcelona, Vol. 1 e 2.
- Fisher, R.L. (1955) – Cuspate spits of St. Lawrence Island, Alaska. Jour. Geol., 63, nº2;
- Fonseca, M.H. (1993) – Susceptibilidade à erosão da bacia hidrográfica da Lagoa de Albufeira. Relatório de Estágio, Lisboa.
- Freitas, M.C.P. (1995) – A Laguna de Albufeira (Península de Setúbal) – Sedimentologia, Morfologia e Morfodinâmica. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a Obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geologia do Ambiente. Lisboa.
- Galego Fernandes, P. A. (2004) - Estudo Hidrogeológico dos Sistemas Aquíferos Sado-Sines: Evolução Hidrogeoquímica e Isotópica. Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Kullberg, M.C.; J.C. Kullberg; Terrinha, P. (2000) – Tectónica da Cadeira da Arrábida. Memórias Geociências, Museu Nac. Hist. Nat. Univ. Lisboa.
- Manuppela, G; Antunes, M.T.; Pais, J.; Ramalho, M; Rey, J. (1999) - Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 38-B Setúbal. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. Lisboa.
- Martins, F. (1947) – A configuração do litoral português no último quartel do séc. XIV. Biblos, vol. XXII, Tomo I.
- Peneda, M.C. & Dias, J.M.A. (1986) – Some proposals for a coastal system management (The Lagoon of albufeira case). Thalassas, 4.
- Pereira, A.R. (1988) – Aspectos do relevo de Portugal. Litorais ocidental e meridional da Península de Setúbal. Finisterra, vol. XXIII, nº 46.
- Pezzerat, P. J. (1855) - Dados e estudos para um projecto de abastecimento de Agoas e sua distribuição em Lisboa. Typographia do Jornal do Commercio. LISBOA.
- Reis, R.M.M. & Gonçalves, M.Z. (1981) – O clima de Portugal. Fascículo XXXII. Caracterização climática da região agrícola do Ribatejo e Oeste. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- Ribeiro, A.; Ramalho, M.; Azevedo, T.; Cabral, J. (1986) – Livro Guia da Excursão B2/B3 – 2º Congresso Nacional de Geologia. Lisboa.
- Ribeiro, Carlos (1872) – Descrição da costa marítima compreendida entre o Cabo de S. Vicente e a Foz do Rio Douro. Revista de Obras Públicas e Minas, Anno III, nº35-36, Nov. – Dez. 1ª secção – entre o Cabo de S. Vicente e a Foz do Tejo.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H. & Daveau, S. (1987) – Geografia de Portugal. Edições João Sá da costa, Lisboa. Vol. I. A posição geográfica e o território. O ritmo climático e a paisagem.

Ribeiro, O. (1935) – A Arrábida. Esboço geográfico. Revista da Fac. Letras, nº 3, Lisboa.

Rodrigues, J.P. (2004) – A Geologia no Litoral Ocidental da Península de Setúbal. Contributo para o ensino das Ciências da Terra.

Simões, M. (1998) - Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia. Universidade Nova de Lisboa.

Teixeira, S.B. (1990) – Dinâmica das praias da Península de Setúbal (Portugal). Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada.

Zbyszewski, G.; Ferreira, O.V. Manuppella, G. & Assunção, C.T. (1965) – Notícia explicativa da folha 38-B da carta Geológica de Portugal na escala 1: 50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Pezerat, P. J. (1855) - Dados e estudos para um projecto de abastecimento de Agoas e sua distribuição em Lisboa. Typographia do Jornal do Commercio. LISBOA.

www.inag.pt